



jamk

Kunnossapidon kehittäminen työohjeiden yhtenäistämisen keinoin

Valtteri Kokkola

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Toukokuu 2025

Elinkaaren hallinta

Kokkola, Valtteri

Kunnossapidon kehittäminen työohjeiden yhtenäistämisen keinoin

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2025, 64 sivua

Elinkaaren hallinta -tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Toimeksiantajan strateginen kumppanuus Puolustusvoimien kanssa asettaa kunnossapidolle osittain tavallisesta teollisuuden kunnossapidosta poikkeavia vaatimuksia. Toimintaympäristö on sellainen, että yhteneväisyyksiä löytyy perinteisesti turvallisuuskriittisiksi määritetyiltä aloilta, kuten ilmailusta. Toimeksiantajalla on ohje teknisen dokumentaation hallinnasta, mutta huoltotöiden työohjeiden sisällölle ja niiden laadinnalle ei ole yhtenevää ohjeistusta. Tämä loi tarpeen selvittää työohjeiden sisältöä ja laadintaperusteita. Tavoitteena oli muodostaa perusteltu näkemys siitä, että millainen on hyvä työohje ja mitä sen laadinnassa tulee ottaa huomioon.

Tutkimusmenetelmä perustui selittävään tapaustutkimukseen, jossa tutkimusaineiston analyysi toteutettiin aineiston suoralla tulkinnalla, mikä mahdollisti aineistosta esiin nousevan historiallisen kehityspolun tarkastelun ja tapauksen esittämisen sen etenemisjärjestyksessä. Tutkimusaineisto käsitteli ympäristöä, jossa tarkkuus ja onnistuminen ovat keskeisiä turvallisuuden ja kunnossapidon kohteen suorituskyvyn kannalta ja aineisto edusti arvostettua viranomaistason tutkimustietoa, joka on tuotettu tieteellisen tutkimusprosessin pohjalta. Aineiston pohjalta pyrittiin ymmärtämään, että miten kunnossapidon työohjeet ovat kehittyneet ja mitä tämä kehityspolku voi opettaa ohjeiden käytettävyydestä, rakenteesta ja vaikutuksesta työn onnistumiseen.

Työohjeet tulee suunnitella niiden käyttäjän näkökulmasta. Kokeneimmatkaan ammattilaiset eivät selviä virheittä laajasisältöisistä työkokonaisuuksista ilman ohjeita. Työohje onkin yksi työkalu työn suorittamisessa eikä irrallinen dokumentti. Monitasoinen työohje palvelee kaikkia ohjeen käyttäjiä ja monitasoisuus auttaa myös ohjeen tekemisessä. Työohje tulee jakaa kolmeen eri dokumenttiin, jotta se palvelee tekijää ja mahdollistaa laadukkaan työn toteutuksen ja toimii perusteena laadinnalle. Tutkimus mahdollisti jatkotutkimuksen uuden käyttöliittymän luomiselle. Ohjeiden laadintaresurssit tulee huomioida. Työohje ei ole vain pelkkä asiakirja, vaan keskeinen osa järjestelmää, joka tukee turvallisuutta, laatua, toimintakykyä ja työn tehokkuutta.

Avainsanat

Kunnossapito, turvallisuuskriittiset organisaatiot, kompleksisuus, inhimilliset tekijät

Kokkola, Valtteri

Improving maintenance through the standardization of work instructions

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 64 pages

Degree Programme in Life Cycle Management. Master's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The commissioning party's strategic partnership with the Finnish Defence Forces imposes maintenance requirements that differ from conventional industry. The operational environment shares characteristics with traditional safety-critical sectors, such as aviation. While there are guidelines for managing technical documentation, there's no unified instructions for the content or creation of maintenance work instructions. This created a need to explore what constitutes good work instruction and the principles behind its development.

The study employed an explanatory case study approach, analyzing data through direct interpretation. This allowed for examining the historical development of work instructions and presenting the case in its chronological context. The material focused on an environment where precision and success are essential for both safety and performance. The data, based on authoritative research, helped to understand how maintenance instructions have evolved and what this development reveals about their usability, structure, and impact on work outcomes.

Work instructions should be designed from the user's perspective. Even experienced professionals need guidance for complex tasks. A work instruction is a tool for execution, not a separate document. A multi-level instruction benefits all users and supports the drafting process. Dividing the instruction into three documents enhances usability and quality. The study also opens possibilities for further research into new user interface development. Resources for drafting must be considered, as work instructions are a vital part of a system that supports safety, quality, operational capability, and efficiency.

Keywords/tags (subjects)

Maintenance, safety-critical organizations, complex systems, human factors

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Toimintaympäristö	7
2.1	Turvallisuus.....	7
2.2	Turvallisuuskriittiset organisaatiot.....	10
2.3	Ihminen osana kompleksista järjestelmää	12
3	Inhimilliset tekijät kunnossapidossa	13
3.1	Kunnossapito.....	13
3.1.1	Kunnossapidon kehitys	13
3.1.2	Kunnossapitolajit	17
3.1.3	Puolustusvoimien logistiikkajärjestelmä ja kunnossapito.....	18
3.1.4	Puolustusvoimien kunnossapitojärjestelmän vastuut	23
3.2	Inhimilliset tekijät.....	24
3.2.1	Virheiden tunnistaminen – likainen tusina.....	25
3.2.2	Reasonin reikäjuustomalli – systeemiteoria virheisiin	27
4	LEAN näkökulma – standardoitu työ	29
4.1	Standardoidut työohjeet	30
4.2	Standardoidun työohjeen laadinnan keskeiset tekijät	33
5	Laatujärjestelmä ja sen vaatimukset työohjeille	34
5.1	Laatu.....	34
5.2	Laadunhallintajärjestelmä.....	35
5.3	Laadunvarmistus	36
5.4	SFS-EN ISO 9001:2015 mukainen kunnossapitoa ohjaava dokumentaatio	36
6	CASE: Kunnossapidon työohjeiden kehitys ilmailualalla.....	37
6.1	Tutkimusasetelma.....	37
6.2	1935 Ilmailun tarkistuslistat ja niiden historia	39
6.2.1	Boeing B299 onnettomuus	39
6.2.2	Onnettomuustutkinta ja tarkistuslistojen synty.....	41
6.2.3	Ohjaamon tarkistuslistat: periaatteet, suunnittelu ja käyttö.....	44
6.3	PHASE 1 1991 – Tehtävänkuvaus ja ihmisen vs. järjestelmän muuttaminen.....	45
6.4	PHASE 3 1993 – Työohjeiden suunnittelu.....	47
6.5	PHASE 5 1996 – Työkorttien parantaminen.....	48
6.6	2012 - Myöhemmät havainnot ja teknisen dokumentaation merkitys	49

7	Esitys perusteiksi Millog Oy:n huollon työohjeille.....	53
7.1.1	Ohjeiden sisältö ja ajantasaisuus.....	55
7.1.2	Ohjeiden looginen rakenne	55
7.1.3	Ohjeiden sovittaminen tehtäväkulkuun	56
7.2	Millog Oy:n ohjeistus.....	57
8	Pohdinta.....	59
	Lähteet	62

Kuviot

Kuvio 1.	Turvallisuuskäsitteen ominaispiirteet	8
Kuvio 2.	Kunnossapitolajit.....	17
Kuvio 3.	Logistiikkajärjestelmän rakenne tavoitetilassa	19
Kuvio 4.	Kunnossapidon tasot.....	21
Kuvio 5.	Reasonin reikäjuustoteoria	28
Kuvio 6.	Job Breakdown Sheet.....	32
Kuvio 7.	Standard Work Instruction.....	32
Kuvio 8.	Lukituksen käyttövipu	41
Kuvio 9.	B-17 tarkistuslistan sivu 1	43
Kuvio 10.	Yleinen tehtäväkuvaus	46
Kuvio 11.	Työntekijän vs. järjestelmän muuttaminen	46
Kuvio 12.	Vanha työohje	51
Kuvio 13.	Uusi työohje	52

Taulukot

Taulukko 1.	Teollisen vallankumouksen vaiheet	16
Taulukko 2.	Logistiikka- ja kunnossapitojärjestelmä & 13306:2017.....	23
Taulukko 3.	Likainen tusina.....	26
Taulukko 4.	Kaksitasoinen ohje ohjeiden tekemiselle	56

1 Johdanto

Millog Oy on erikoistunut kokonaisvaltaiseen elinkaarenhallintaan, sekä kunnossapito ja varastointipalveluihin. Yrityksen päätehtävä on Puolustusvoimien materiaalien ylläpito ja se toimii Puolustusvoimien strategisena kumppanina, joka vastaa maavoimien ja merivoimien järjestelmien kunnossapidosta ja varaosalogistiikasta. Strateginen kumppanuus edellyttää yritykseltä korkeatasoista toimialan syvällistä osaamista ja kykyä sovittaa toiminta vastaamaan ympäristön tuomiin vaatimuksiin. (Millog 2025.)

Yrityksen itselleen asettamat tavoitteet, sekä strateginen kumppanuus ja sen mukanaan tuoma toimintaympäristö asettavat kunnossapidolle vaatimuksia, jotka jossain määrin eroavat yleisestä teollisesta kunnossapidosta. Yrityksen toiminnan ja toimintaympäristön luonteeseen liittyviä tekijöitä voidaankin tunnistaa sellaisista organisaatioista, joissa toiminnalta vaaditaan korkeaa tarkkuutta ja laatua.

Yrityksessä on tällä hetkellä ohje teknisen dokumentaation hallinnasta, jonka tarkoitus on varmistaa dokumenttien saatavuus, työhön tarvittavien vaatimusten yksiselitteisyys ja dokumentaation riittävä jäljitettävyyden taso. Kuitenkaan Millog Oy:ssä huoltojen työohjeille ei ole vakioitua nimitystä, eikä niiden sisällölle ja laatimiselle ole yksiselitteistä ohjetta tai prosessia, mikä on voinut joissain tapauksissa heikentää työn laatua tai tehokkuutta.

Millog Oy:n nykyiset kunnossapidon työohjeet perustuvat lähtökohtaisesti Microsoft Office-sovelluksilla tuotettuun dokumentaatioon. Tulevaisuudessa yritys tulee kuitenkin toiminnanohjausjärjestelmän muutoksen myötä todennäköisesti käyttämään digitaalisia dokumentteja, mikä luo tarpeen kehittää työohjeita, mutta toisaalta myös mahdollistaa niiden kehittämisen.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, että miten kunnossapidon työohjeiden kehittämällä voidaan parantaa kunnossapitotyötä. Varsinaisen tutkimusasetelma esitetään luvun 6 alussa. Tutkimus rajattiin koskemaan huollon työohjeiden kehittämistä strategisen kumppanuuden kontekstissa. Vaikka tutkimus käsittelee aihetta tämän toimintaympäristön perusteella, niin siinä pyrittiin kuitenkin huomioimaan käytännönläheisyys huoltotyön suorittamisessa. Työohjeiden tekninen sisältö tai ohjeen mahdollinen implementointi uuteen toiminnanohjausjärjestelmään rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimuksen toisessa luvussa käsitellään toimintaympäristön luonnetta, käsitteitä ja erityispiirteitä. Kolmannessa luvussa tarkastellaan kunnossapitoa ja siihen liittyviä inhimillisiä tekijöitä. Neljäs luku käsittelee LEAN-ajattelun mukaista standardisoitua työtä. Viides luku käy läpi laatu järjestelmää ja strategisen kumppanuuden laadunhallintaan liittyviä tekijöitä.

Kuudennessa luvussa perehdytään CASE-esimerkkiin, joka perustelee toimintaympäristön kunnossapidon kriittisyyttä, ohjeiden merkitystä ja tuo esille tärkeimmät perusteet työohjeiden laadinnalle. Seitsemäs luku esittää tutkimuksen tulokset ja johtopäätökset, sekä esityksen Millog Oy:n työohjeiden perusteiksi.

Tutkimuksessa käytettiin apuna tekoälyä (Microsoft Copilot) alun perin huonolaatuisista valokopioidista skannattujen FAA:n PHASE 1-5 tutkimusraporttien osien muuttamisessa helpommin luettaviksi tekstitiedostoiksi, jotka ovat tekijän hallussa. Lisäksi tekoälyä (Chat GPT 4.0) käytettiin joidenkin pitkien ja vaikeaselkoisten lähteiden kääntämisessä luettavuuden parantamiseksi ja nopeuttamiseksi. Tekoälyä (Microsoft Copilot & Chat GPT 4.0) käytettiin tutkimuksen kirjallisessa raportissa tekijän oman tekstin kieliasun ja rakenteen tarkastamisessa, mutta siten, että tekijä itse arvioi ja päätti ehdotetuista korjauksista.

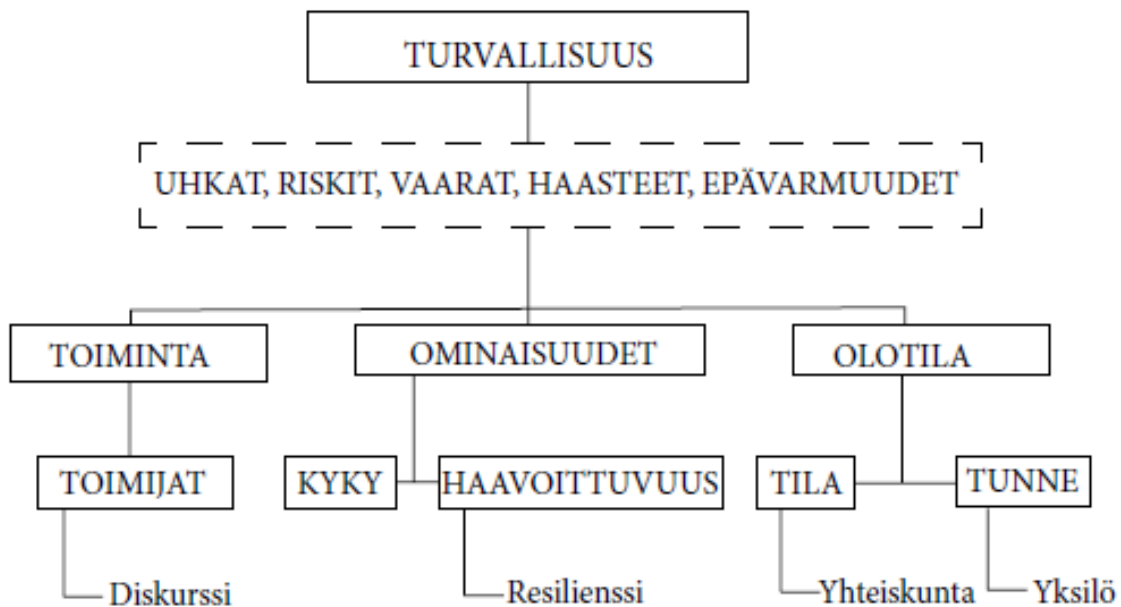
2 Toimintaympäristö

2.1 Turvallisuus

Turvallisuus on käsitteenä erittäin laaja ja monimutkainen riippuen käsitteen määrittelijästä ja tarkastelunäkökulmasta. Sanastokeskus TSK määrittää turvallisuuden tilaksi, jossa uhkat ja riskit ovat hallinnassa. TSK:n määritelmään mukaan turvallisuudella voidaan myös tarkoittaa sellaista tilannetta, jossa tavoitteena on uhkien ja riskien hallinta tai tunne niiden hallinnasta. TSK esittää turvallisuuden jakautuvan englannin kielessä kahteen eri osaan, joista ”security” viittaa ”kovaan” turvallisuuteen kuten aseellisen voiman käytöltä, väkivallalta tai rikolliselta toiminnalta turvassa olemiseen, kun taas ”safety” viittaa ”pehmeään” turvallisuuteen, johon ei vaikuta tarkoituksellinen ulkoinen toiminta kuten rikollinen teko, vaan sellaiset tahattomat tekijät kuten tapaturmat, onnettomuudet tai virheet. (Kokonaisturvallisuuden sanasto TSK 50 2017, 16.)

Reiman & Oedewald (2008, 5–6) esittävät turvallisuutta pidettävän usein itsestään selvyytenä, mutta todellisuudessa turvallisuus onkin laaja ja monimutkainen käsite, minkä määrittely on vaikeaa. Jokainen organisaatio määrittää itse sen mitä turvallisuudella käsitetään. Tämä kuitenkin johtaa siihen, että tällöin asioita jää pois turvallisuuden määritteestä, jolloin poisjääneisiin asioihin liittyviä tekijöitä ei välttämättä huomioida ollenkaan. Organisaatioturvallisuudessa turvallisuus jaetaan useaan osa-alueeseen. Nämä osa-alueet ovat kuitenkin jossain määrin päällekkäisiä ja niiden tavoitteet ja menetelmät eroavat toisistaan ja voivat johtaa jopa ristiriitoihin, jolloin esimerkiksi tilaturvallisuus rajoittaa työntekijöiden liikkumista niin paljon, että se vaarantaa tuotantoturvallisuuden. (Reiman & Oedewald 2008, 5–6.)

Silvastin (2017, 275–277) mukaan turvallisuuskäsitteen ytimen muodostavat olotilan, ominaisuuksien ja toiminnan ulottuvuudet, jotka turvallisuuskäsitteen ominaispiirteinä sisältyvät jollain tapaa kaikkiin turvallisuuden määritelmiin.



Kuvio 1. Turvallisuuskäsitteen ominaispiirteet (Silvasti 2017, 276)

Kun turvallisuutta tarkastellaan *olotilana*, sillä voidaan käsittää *tunnetta* yksilön tasolla tai yhteiskunnallista *tilaa* yhteisön tasolla. Yksilön tasolla tunne on yhteydessä pelkoon, kun taas yhteiskun-

nan tasolla turvallisuuden olotilaa voi käsittää yleisen järjestyksen ja turvallisuuden tilana. Jos turvallisuutta hahmotetaan *ominaisuutena*, se voidaan liittää *kykyyn* varmistaa turvallisen olotilan jatkuminen, jossa kyvyn tai kyvykkyyksien puute näkyy *haavoittuvuutena*, jota voidaan ehkäistä varautumisen ja valmiussuunnittelun keinoin tai esimerkiksi materiaalihankinnoilla. Koska täydellistä turvallisuutta ei käytännössä voi täysin saavuttaa, korostetaan nykyisin *resilienssiä*, kykyä sietää ja vastustaa turvallisuuden häiriöitä. Turvallisuuden tunteen ja erilaisten kykyjen ja kyvykkyyksien omaamisen lisäksi erilaisiin turvallisuusuhkiin tulee voida reagoida. *Toiminta* ja *Toimijat* riippuvat siitä, että mitä turvallisuuden sektoria uhka, riski, vaara, haaste tai epävarmuus koskee. Poliisi huolehtii sisäisen turvallisuuden toimijana yleisestä järjestyksestä, rikollisuuden ehkäisemisestä ja yhteiskuntarauhasta. Puolustusvoimien tehtävänä on huolehtia maan sotilaallisesta puolustamisesta eli varmistaa kansallinen turvallisuus. (Silvasti 2017, 277.)

Turvallisuus on monimutkainen erilaisia näkökulmia ja konteksteja kattava käsite, jonka monimutkaisuutta lisäävät erilaiset turvallisuuden tasot, monialaisuus, katsontanäkökulma ja jatkuvasti muuttuva toimintaympäristö. Silvastin (2017, 266) mukaan turvallisuuskäsitteen määrittäminen ei ole kuitenkaan yhdentekevää käsitteen monimerkityksellisyydestä huolimatta, koska määritelmä toimii yhteiskunnallisten resurssien jaon perusteena.

Teperin (2023, 20) mukaan turvallisuus on tila, jossa asiat tapahtuvat niin kuin niiden on suunniteltu tapahtuvan. Teperin mukaan turvallisuuden erilaiset määritelmät eivät ole konkreettisia, vaan ne ennemmin auttavat käsittämään turvallisuutta ilmiönä, jota on kuvattu jatkuvaksi ei-tapahtumaksi, haitan puuttumiseksi, vahinkoa aiheuttavan vaaran poissaoloksi tai tilanteeksi, jossa riskit ovat hyväksyttävällä tasolla.

Teperin (2023, 20) määritelmää turvallisuudesta voidaan käsitellä myös kunnossapidon yhteydessä, jolloin tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että turvallisuus toteutuu, kun työ suoritetaan suunnitellusti ja odotusten mukaisesti ilman poikkeamia ja virheitä. Kunnossapidon onnistuminen edellyttää tällöin huolellista suunnittelua ja sellaisten toimintatapojen sekä ohjeiden käyttämistä, jotka tukevat työn ennakoitavuutta ja vähentävät epävarmuutta. Näin ajateltuna turvallisuus ei olekaan vain vaarojen ja riskien hallintaa, vaan se voidaan käsittää myös osana kokonaisvaltaista laadukkaan työn toteutumista. Turvallisuuden käsitettä siis voidaan laajentaa haittojen poissaolosta kohti toiminnan tarkoituksenmukaisuutta ja ennakoitavuutta.

2.2 Turvallisuuskriittiset organisaatiot

Turvallisuuden ollessa laaja, monimutkainen ja monialainen käsite, myöskään turvallisuuskriittiset organisaatiot eivät ole kovin yksinkertaisesti selitettäviä. Reimanin & Oedewaldin (2008, 4) mukaan turvallisuuskriittisten organisaatioiden toimintaan liittyy sellaisia vaaroja tai riskejä, jotka huonosti hallittuna voivat aiheuttaa merkittäviä riskejä ihmiselle tai ympäristölle. Perinteisiä esimerkkejä turvallisuuskriittisistä organisaatioista ovat ydinvoimalat ja lentoyhtiöt, mutta turvallisuuskriittisiä ovat myös sellaiset organisaatiot, joissa turvallisuus ja turvallisuuden hallinta on keskeistä esimerkiksi rahan käsittelyssä, rikosten torjunnassa tai maanpuolustuksessa. Tällaisten yritysten toimintaa arvioidessa julkinen luottamus niiden toiminnan turvallisuuteen on ratkaisevan tärkeää ja mahdollisesti osittain myös yrityksen olemassaolon merkitys. Turvallisuuskriittisiä organisaatioita löytyy usealta eri toimialalta, ja ne eroavat toisistaan sen suhteen, että miten merkittävää turvallisuus ja sen varmistaminen niissä on. Eri toimialoilla korostuvat erilaiset vaarat ja niissä painotetaan erilaisia turvallisuuksia. (Reiman & Oedewald 2008, 4.)

Turvallisuuskriittiset alat ovat tyypillisesti tarkoin säädeltyjä ja niiden toimintaa ohjataan erilaisilla normeilla ja suosituksilla sekä niiden toimintaa valvotaan tiukasti. Turvallisuuskriittisillä aloilla vika- ja virhetilanteisiin varaudutaan ennalta suunnitelluilla menettelyillä ja erilaisiin poikkeamiin reagoidaan matalalla kynnyksellä, koska raportointi on yleensä pakollista. Turvallisuuskriittisten organisaatioiden toiminta perustuu vakioituihin menetelmiin, kommunikaatiossa käytetään määräämuotoisia ilmaisuja ja organisaatioiden tiedonvälitys on avointa ja suoraa. Henkilöstön osaamisen hallinta toteutetaan systemaattisesti esimerkiksi kelpoisuus- ja lupakirjakäytäntöjen kautta, joita viranomaiset valvovat. Toimintaa ohjaavien normien ja suositusten syntymiseen ovat pääsääntöisesti johtaneet erilaiset onnettomuudet, joita turvallisuuskriittisissä organisaatioissa on tapahtunut. (Teperi 2023, 29–30.)

Reiman ja Oedewald (2006, 34) tuovat turvallisuuskriittisen organisaation rinnalle käsitteenä esiin korkean luotettavuuden organisaation (eng. high reliability organization, HRO), joka toimii terminä organisaatiolle, joka on toiminut ilman onnettomuuksia riskialttiilla aloilla. Korkean luotettavuuden organisaatioiden tutkimus on lähtöisin 1990-luvulta Berkeleyn yliopiston projektista, jossa HRO-ryhmän toimesta selvitettiin korkean luotettavuuden ja tehokkuuden saavuttaneiden organisaatioiden organisaatorakenteita ja sääntöjä, päivittäisen toiminnan päätöksentekoa ja normeja. Reimanin ja Oedewaldin (2006, 34) mukaan HRO-ryhmän Roberts (1993) ja La Porte (1996)

havaittavat menestyvien korkean tehokkuuden ja turvallisuuden omaavien organisaatioiden sisäiseksi piirteiksi seuraavat:

-Organisaatioissa vallitsee vahva yhteinen missio, jossa turvallisuus on yhtä tärkeää kuin tuottavuus. Organisaatioissa ymmärretään toimintaan liittyvät riskit, toiminnan arvokkuus ja virheiden seuraukset.

-Organisaatioiden henkilöstö on pätevää ja siihen kiinnitetään jatkuvasti huomiota. Ammattitaito määrittää valta-asemaa ja päätöksentekoa. Päteviä henkilöitä motivoidaan hyvällä asemalla.

-Suoritus varmistetaan tiukalla laadunvalvonnalla, tietojen analysoinnilla ja onnettomuuksien mallintamisella.

-Organisaation joustavuutta ja valmiutta vastata ennakoimattomiin tapahtumiin vahvistetaan rinnakkaisilla prosesseilla. Hyödynnetään työkiertoa ja laajennetaan henkilöstön osaamista, pyritään siihen, että kriittiset toiminnot eivät riipu toisistaan.

-Organisaatiossa on tavallisesti hierarkkinen toimintamalli. Kuitenkin työtahdin kiihtyessä tai poikkeavassa tilanteessa toimintatavat nojaavat enemmän työyhteisöön ja roolit muuttuvat tarvittaessa, jotta osaaminen laajenee ja yhdistyy tilanteen niin vaatiessa.

-Päätöksenteko tapahtuu toimenpiteiden tekijöiden tasolla, taktiset päätökset tehdään yhdessä asiantuntijoiden kanssa.

-Päätökset toteutetaan nopeasti eikä niitä haluta jälkikäteen muuttaa, tämän takia kaikki mahdollinen tieto tulee olla päätöksenteossa saatavana.

-Vaikkei päätöksiä haluta muuttaa, tulee niitä arvioida jälkikäteen ja etsiä parannettavaa systemaattisen palautteen keräämisen avulla. Pyritään tunnistamaan puutteet ja tunnistamaan virheet varhaisessa vaiheessa.

-Tehtävän täyttämisen normit ja turvallisuuskulttuuri yhdistyvät.

- Ammattilypeys ja korkeat vaatimukset omaa toimintaa kohtaan korostuvat. Vaativissa tilanteissa kollegoita tuetaan rooleista riippumatta, mikä vahvistaa ryhmähenkeä.

-Operaattorit ja esimiehet voivat tehdä itsenäisiä päätöksiä kiireellisissä ja kriittisissä tilanteissa ja kokevat vahvaa vastuuntuntoa toiminnastaan.

-Tekninen asiantuntemus ja operatiivinen toiminta ovat erillään, vaikka ne tarvitsevat toisiaan.

Tämä voi aiheuttaa jännitteitä asiantuntijoiden ja toteuttavan tahon välillä.

HRO-ryhmä tarkasteli luotettavina organisaatioina sellaisia organisaatioita, jotka ovat suoriutuneet hyvin tähän asti, joten ei ole välttämättä varmuutta, että onnistuuko tällainen organisaatio suoriutumaan hyvin myös tulevaisuudessa. Lisäksi La Porte toteaa itsekkin, että edelliset piirteet ovat välttämättömiä, mutta eivät välttämättä riittäviä takaamaan hyvää turvallisuustasoa. HRO-ryhmän tarkoituksena ei ollutkaan luoda teoriaa onnettomuuksien synnystä, vaan organisaation luotettavuudesta. Kritiikistään huolimatta Reiman & Oedewald (2006, 37) pitävät HRO-tutkimusta merkittävänä yrityksenä kuvata organisaatioiden toimintaa monimutkaisessa ympäristössä.

2.3 Ihminen osana kompleksista järjestelmää

Turvallisuuskriittiset organisaatiot toimivat usein sellaisissa ympäristöissä, joissa ihmisen toiminta liittyy osaksi laajempaa teknistä ja organisatorista kokonaisuutta. Asiaa voidaan tarkastella systeemianalyysin kautta, jossa yhdistyvät monimutkainen vuorovaikutus ja järjestelmän sisäiset kytkennät. Tietyissä järjestelmissä onnettomuudet eivät johdu yksittäisten henkilöiden tekemistä virheistä, vaan järjestelmän rakenteellisesta kompleksisuudesta ja sen osien välisestä vuorovaikutuksesta. Tämän tyyppiset epäsuorat ja ennakoimattomat vuorovaikutukset tekevät järjestelmän toiminnasta vaikeasti hallittavan ja alttiin yllättäville virheille. (Degani & Wiener 1993, 14.)

Vicente (1999, 12–15) täsmentää kompleksisuuden käsitettä kuvaamalla ihmisen ja tekniikan sisältämiä järjestelmiä moniulotteisiksi kokonaisuuksiksi, joissa yhdistyvät laajat ongelmakentät, tiedon epävarmuus, jatkuvat muutokset, häiriöt, sekä ihmisten väliset sosiaaliset ja kulttuuriset erot. Tällaisessa ympäristössä ihmisen rooli ei rajoitu pelkkään tehtävän suorittamiseen, vaan häneltä edellytetään aktiivista kognitiivista työskentelyä, päätöksentekokykyä ja joustavuutta. Erityisesti tiedon

epävarmuus ja järjestelmissä esiintyvä korkea automaation taso lisää ihmisen kognitiivista kuormitusta, koska hän joutuu jatkuvasti arvioimaan toimintansa seurauksia ilman täydellistä tietoa tilanteesta. (Vicente 1999, 12–15.)

Tällainen kompleksisuuteen perustuva näkökulma pyrkii siirtämään järjestelmän hallinnan painopisteen yksittäisen työntekijän toiminnasta järjestelmän rakenteeseen ja toiminnan suunnitteluun. Ihminen ei ole vain potentiaalinen virheiden lähde, vaan keskeinen tekijä järjestelmän kokonaisuuden hallinnassa ja turvallisuuden ylläpidossa. Kompleksisuuden ymmärtäminen auttaa hahmottamaan, miksi työympäristö ja työkalut tulee suunnitella tavalla, joka ottaa huomioon ihmisen kognitiiviset kyvyt ja rajoitteet.

3 Inhimilliset tekijät kunnossapidossa

3.1 Kunnossapito

3.1.1 Kunnossapidon kehitys

PSK 6201 määrittelee kunnossapidon seuraavasti: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (PSK 6201 2022, 3). Standardin SFS-EN 13306 mukaan ”kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon” (SFS-EN 13306:2017, 7).

Kunnossapidon käsite on vanha ja kehittynyt yhdessä ihmisen, yhteiskunnan ja erityisesti teollistumisen kanssa. Kun ihminen on alkanut käyttää työkaluja apunaan, niin kunnossapitoa on tarvittu pitämään nämä työkalut kunnossa, siis käytettävissä. Suhtautuminen kunnossapitoon on muuttunut historian myötä, alun perin kunnossapito on ollut korjaavaa ja sittemmin se on muuttunut enakkoon tehtäviksi toimenpiteiksi, joille keskeistä on kustannusten, ajan ja laadun huomiointi. (Poór, Ženíšek & Basl, 2019.)

Poór, Ženíšek & Basl (2019) esittävät kunnossapidon kehityksen siten, että se on rinnastettu teollisen vallankumouksen eri vaiheisiin, jotka esitetään seuraavissa kappaleissa.

Teollisuus 1.0 ja reaktiivinen (korjaava) kunnossapito. Ensimmäisen teollisen vallankumouksen aikakautena keskeiset muutokset koskivat energiankäyttöä, kuljettamista, tiedonsiirtoa ja tuotannon teollistumista. Tämän aikakauden kuvaavin symboli oli höyrykone ja teollistuminen näkyi Englannin suurten teollisuuskaupunkien korkeina tehtaiden savupiippuina, kasvaneena liikenneinfrastruktuurina ja kiihtyneenä urbanisaationa. Aikakauden tyypillisin kunnossapidon muoto oli korjaava kunnossapito, jolloin kunnossapitotoimia tehdään vasta laitteen rikkoutuessa tavoitteena korjata laite takaisin toimintakuntoon. Tämän etuna oli, että aikaa ja rahaa kului vähemmän, alkuinvestointien tarve oli pieni ja kunnossapitoa ei juuri tarvinnut suunnitella. Toisaalta käyttämällä pelkkää korjaavaa kunnossapitoa laitteiden käyttöikä lyhentyi, turvallisuusriskit nousivat, ajankäytön tehokkuus oli huono ja loppuen lopuksi kunnossapitokustannukset kasvoivat. Tapa, jossa laite korjattiin vasta sitten kun se hajosi, oli ensimmäinen ihmisen käyttämä kunnossapitokeino, koska sitä pidettiin helppona ja luontevana. Tämän aikakauden kunnossapidon kohteet, koneet, olivat myös suhteellisen yksinkertaisia eikä niiden kunnossapitoon tarvittu suurempaa asiantuntemusta. (Poór, Ženíšek & Basl 2019.)

Teollisuus 2.0 ja ennaltaehkäisevä (preventive) kunnossapito. Toinen teollisen vallankumous liittyi työnjakoon perustuvaan massatuotantoon sekä sähköisiin tuotantolinjoihin ja tämän aikakauden keksintöjä olivat mm. hehkulamppu, muuntaja, dynamiitti puhelin ja lentokone. Tällä aikakaudella Frederick Taylor kehitti työprosessin tarkkaan määrittelyyn perustuvaa työn organisointia tähdäten tuotannon kannattavuuden huomattavaan kasvattamiseen, sekä Henry Ford perusti Model T kokoonpanolinjan. Tiede kehittyi valtavaa vauhtia ja tutkimustuloksia alettiin soveltaa teollisuudessa, joka johti mm. polttomoottoreiden käyttöön ja sähköistymiseen. Tuotanto kasvoi nopeasti ja tuotantokoneista tuli monimutkaisempia, jolloin vikaantuminen aiheutti suurempia kustannuksia tuotannon pysähtyessä. Tämän vuoksi alettiin kehittämään ennaltaehkäisevää kunnossapitoa, joka voidaan jakaa säännöllisiin huoltoväleihin perustuvaan kunnossapitoon sekä laitteiston kuntoon perustuvaan kunnossapitoon ja jonka tavoitteena on vähentää koneiden rikkoutumisen todennäköisyyttä sekä vähentää seisokkiaikoja. Ennaltaehkäisevällä kunnossapidolla

voidaan kasvattaa laitteen käyttöikä ja se parantaa tehokkuutta. Vaikka vikaantuminen ei kokonaan häviä, niin häiriöiden määrä kuitenkin vähenee merkittävästi verrattuna ensimmäisen teollisen vallankumouksen aikaiseen korjaavaan kunnossapitoon. (Poór, Ženíšek & Basl 2019.)

Teollisuus 3.0 ja ennakoiva (proactive) kunnossapito. Kolmannen teollisen vallankumouksen aika-kausi tunnetaan myös tietokoneiden aikakauden alkuna ja kaudelle olennaista oli ohjelmoitavien logiikoiden kehittyminen, automaation, elektroniikan kasvu sekä informaatioteknologian lisääntyminen, mitä hyödynnettiin tuotantokoneiden ohjaamisessa. Tällä aikakaudella teollinen tuotanto kehittyi varsinaisten tuotantolinjojen ulkopuolella ja ulottui myös kuljetuksiin sekä monimutkaisiin kone- ja laitekokonaisuuksiin. Aikakauden alussa kehittyi tuottava kunnossapito (Productive Maintenance, PM), joka yhdistää korjaavan ja ennaltaehkäisevän kunnossapidon datan ja analytiikan avulla tavoitteena tunnistaa rikkoutumiseen johtavat ongelmat ennalta. Tuottavan kunnossapidon avulla laitteiden käyttöikä pitenee, seisokkien määrä vähenee ja on edullisempaa. Uusi lähestymistapa vaati kuitenkin isoja muutoksia ajattelutavoissa ja organisaation rakenteessa. Tässä vaiheessa kunnossapidosta tuli osa yrityksen strategiaa ja tunnistettiin kehityskohteeksi. Aikakauden kaksi tunnetuinta kunnossapitomenetelmää olivat japanilainen kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito (Total Productive Maintenance, TPM) ja yhdysvaltalainen luotettavuuskeskeinen kunnossapito (Reliability Centered Maintenance, RCM). (Poór, Ženíšek & Basl 2019.)

Teollisuus 4.0 ja ennustava (predictive) kunnossapito. Neljäs teollinen vallankumous ei ole historiaa, vaan on parhaillaan käynnissä ja keskeisintä sille on internetin kehitys ja muutosten nopeus, mikä johtuu maailmanlaajuisesta verkottumisesta. Ennustavalla kunnossapidolla (kutsutaan myös PdM 4.0) estetään vikaantumista datan analysoimisella, kaavojen tunnistamisella ja ennustamalla ongelmia ennen syntymistä, minkä mahdollistavat suuret tietomäärät ja tekoälyn käyttö niiden analysointiin. Ennustavalle kunnossapidolle tyypillistä on reaaliaikainen kunnonvalvonta ja ennustepohjaiset hälytykset ja sen keskeisiä osia mm. sensorit, esineiden internet (IoT), big data ja pilvipalvelut. (Poór, Ženíšek & Basl 2019.)

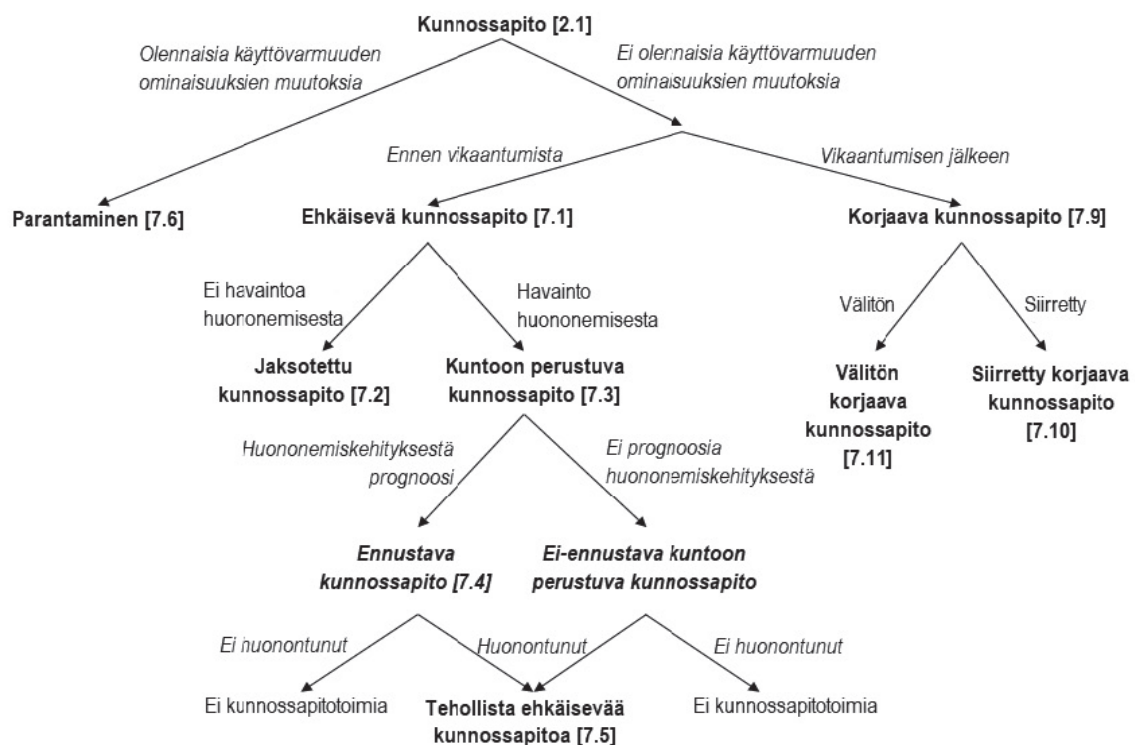
Taulukko 1. Teollisen vallankumouksen vaiheet ja kunnossapitostrategiat

Aikakausi	Keskeinen kehitys	Kunnossapito	Periaate
1. Teollinen vallankumous 1700-luvun loppu – 1800 luvun puoliväli	Höyrykoneet, mekani-soitu tuotanto	Korjaava kunnossapito	Koneet huolletaan vasta kun ne rikkoutuivat
2. Teollinen vallankumous 1800-luvun loppu – 1900 luvun alku	Massatuotanto, sähköistyminen, tarkkaan mietitty työn organisointi, tuotantolinjat	Ennaltaehkäisevä kunnossapito	Säännölliset huolto-toimet ja tarkastukset ennen rikkoutumista
3. Teollinen vallankumous 1900-luvun puoliväli – 2000-luku	Automaatio, tietokoneet, sähköiset ohjausjärjestelmät	Luotettavuuskeskeinen kunnossapito RCM ja Tuottava kunnossapito TPM	Systemaattinen analyysi, tavoite minimoida seisokit ja parantaa luotettavuutta
4. Teollinen vallankumous / Teollisuus 4.0	Esineiden internet (IoT), Big Data, tekoäly	Ennustava kunnossapito, Predictive Maintenance, PdM 4.0)	Reaaliaikainen datan analysointi, koneoppiminen, vikaantumisen estäminen ennakolta

Teollisen vallankumouksen eri vaiheet ovat selkeästi vaikuttaneet suoraan kunnossapidon kehitykseen. Tuotannon kehittymisen myötä myös kunnossapito on kehittynyt; yksinkertaisesta vikaantuneen koneen korjaamisesta on siirrytty ennakoivaan, dataan ja analytiikkaan perustuvaa kunnossapitoon, jonka tavoitteena tehokkuuden maksimointi ja seisokkien minimointi.

3.1.2 Kunnossapitolajit

Eurooppalainen standardi SFS-EN 13306 jakaa kunnossapidon kahteen eri kategoriaan, Ehkäisevään kunnossapitoon (Preventive Maintenance) ja Korjaavaan kunnossapitoon (Corrective Maintenance). Ehkäisevän kunnossapidon tarkoitus on arvioida ja ehkäistä kunnossapidon kohteen heikentymistä ja vikaantumisen todennäköisyyttä, jossa vika tarkoittaa tilaa, jossa kunnossapidon kohde ei kykene suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Ehkäisevällä kunnossapidolla siis tarkoitetaan niitä toimia, jotka tehdään estämään vikaantuminen ja pitämään järjestelmän toimintakykyllä. Korjaavalla kunnossapidolla taas tarkoitetaan niitä toimia, jotka tehdään vikaantumisen jälkeen tavoitteena palauttaa laite takaisin toimintakuntoon. (SFS-EN 13306:2017, 13–16.)



Kuvio 2. Kunnossapitolajit (ISO-SFS 13306:2017)

Ehkäisevä kunnossapito jaetaan edelleen jaksotettuun kunnossapitoon (Scheduled Maintenance) ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon (Condition Based Maintenance), jossa jaksotetulla kunnossapidolla tarkoitetaan niitä toimia, mitkä tehdään etukäteen suunniteltujen aikavälien mukaan

tai käyttötuntien mukaan riippumatta laitteen kunnosta. Kuntoon perustuva kunnossapito taas perustuu laitteen kunnan seurantaan ja laitteesta mittaamalla saatuihin tuloksiin. Kuntoon perustuva kunnossapito jaetaan edelleen kahteen eri alatyyppiin, ennustavaan kunnossapitoon (Predictive Maintenance) ja ei-ennustavaan kunnossapitoon. Ennustavassa kunnossapidoissa tarkkaillaan niitä tekijöitä, jotka kuvaavat kohteen suorituskyvyn heikentymistä. (SFS-EN 13306:2017, 13–16.)

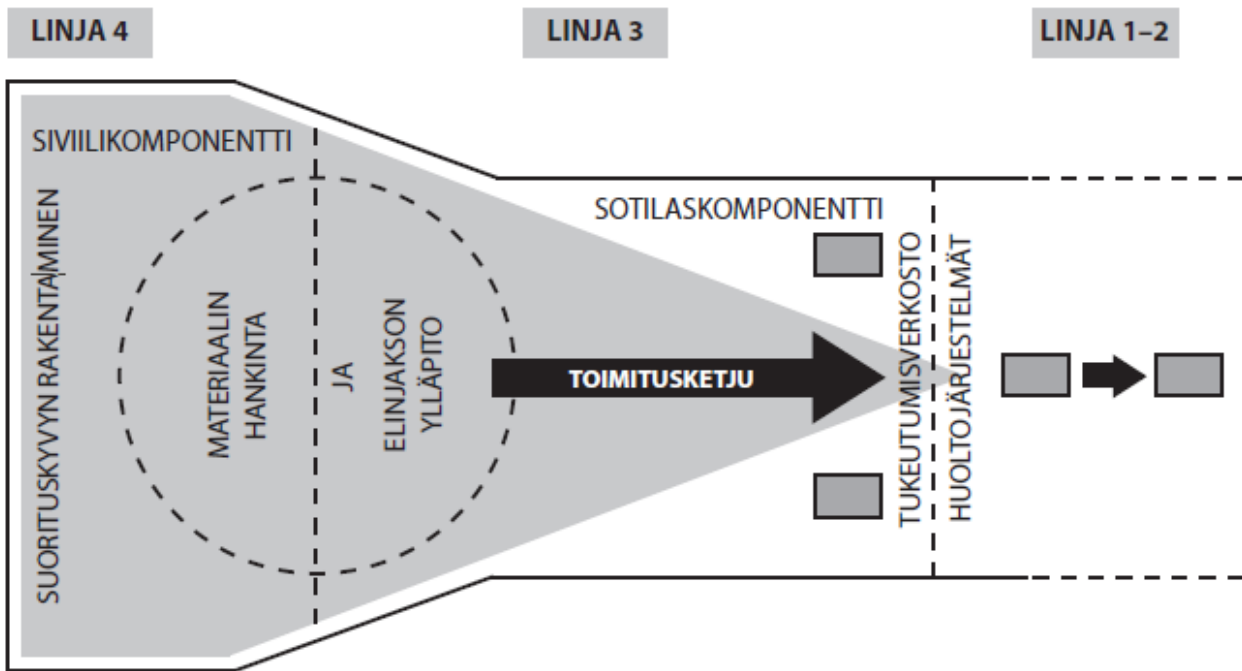
3.1.3 Puolustusvoimien logistiikkajärjestelmä ja kunnossapito

Suomen puolustusjärjestelmässä logistiikalla tarkoitetaan kaikkia sellaisia toimintoja, joiden avulla järjestelmän suorituskykyä rakennetaan, kehitetään ja pidetään yllä suunniteltujen tavoitteiden mukaisesti. Logistiikkajärjestelmän tehtävä on varmistaa, että joukoilla ja henkilöstöllä on käytössä kaikki tarvittavat edellytykset suorituskykyjen hyödyntämiseen ja mahdollistaa Suomen Puolustusvoimien kyky säädellä valmiutta ja toteuttaa operaatiota. Logistiikka pitää sisällään joukkojen ja henkilöstön toimintakyvyn rakentamisen ja ylläpitämisen sekä materiaalin hankinnan, tuotannon, varastoinnin, jakelun, modernisoinnin, kunnossapidon ja käytöstä poiston. (Mikkonen 65–66.)

Olennainen osa logistiikkaa ovat myös materiaalin ja palvelujen tilaus-toimitusketjut, sekä näiden ketjujen hallinta. Logistiikkajärjestelmään kuuluvat sotilas- ja siviilikomponentit, jossa sotilaskomponentin tehtävä on tukea joukkotuotantoa, perustamista ja käyttöä tarpeiden mukaan, sotilaskomponentista muodostetaan tukeutumisverkoston runko. Siviilikomponentti koostuu yhteiskunnan logistisista toimijoista, sekä elinkeinoelämän palveluista ja kumppanuuksista.

Siviilikomponentin tehtävänä on varmistaa yhteiskunnan huoltovarmuus, sekä tukea sotilaskomponenttia normaali- ja poikkeusoloissa. Tuen toteuttaminen perustuu ennalta laadittuihin sopimuksiin, resurssien turvaamiseen, varautumiseen sekä yhteiseen harjoitteluun. Siviilikomponentin kyky tukea Puolustusvoimia poikkeusoloissa riippuu yhteiskunnan keskeisten toimintojen jatkuvuudesta ja huoltovarmuuden ylläpidosta. (Mikkonen 2021, 66.)

Puolustusvoimien logistiikkajärjestelmää on kehitetty kansainvälisen linjoittain roolitetun logistiikkajärjestelmän mukaisesti, jossa pyritään kansainväliseen yhteensopivuuteen ja yhteisoperointikykyyn. Linjoittain roolitettu logistiikkajärjestelmä selkeyttää vastuita sen eri tasoilla ja mahdollistaa jokaisen linjan erityispiirteiden ja toimintaympäristön vaatimusten tehokkaan huomioimisen sekä helpottaa eri linjojen välistä yhteistoimintaa. (Mikkonen 2021, 77.)



Kuvio 3. Logistiikkajärjestelmän rakenne tavoitetilassa (Mikkonen 2021, 78)

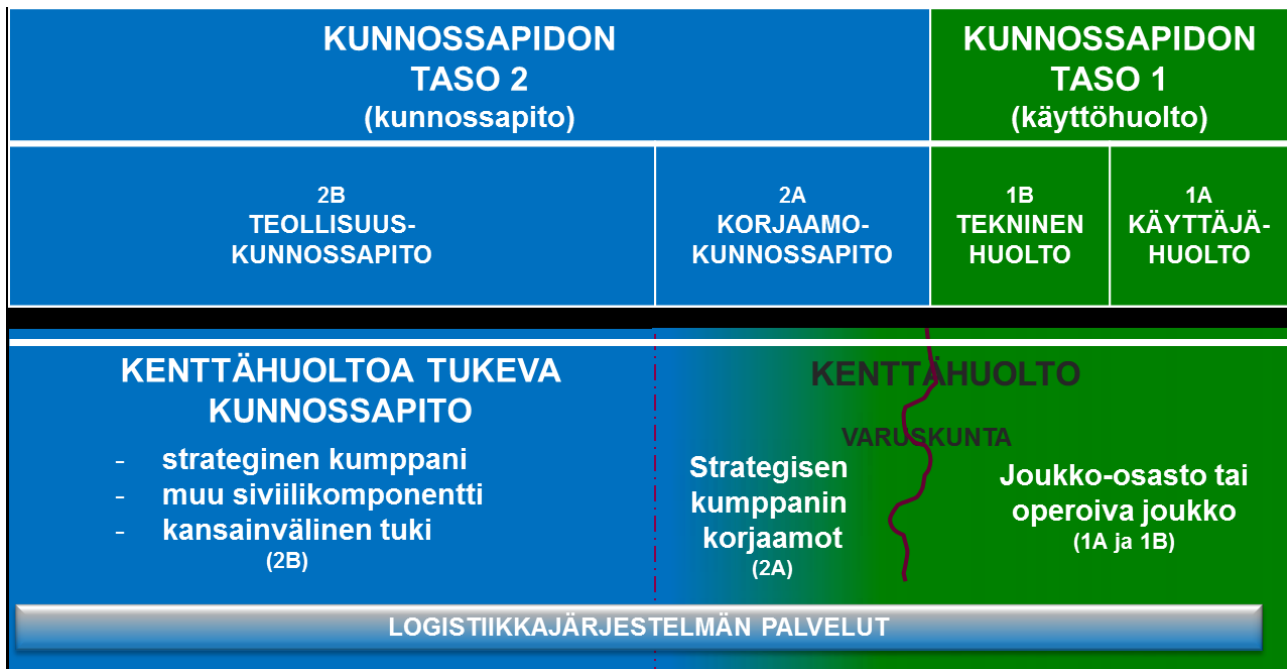
Taistelujärjestelmien huollon (linjat 1–2) tehtävä on varmistaa operaatioiden välitön tuki, jonka ydintekijöitä ovat omavaraisuus, itsenäinen toimintakyky, joustava kenttähuolto sekä kyky hyödyntää linjan 3 tukeutumisverkostoa. Linjat 1–2 tukevat joukkojen koulutusta, perustamista ja toimintaa. (Mikkonen 2021, 80.)

Linjalla 3 toimii yhtenäinen tukeutumisverkosto, joka muodostuu sotilas- ja siviilikomponentin yhdistetyistä suorituskyvyistä ja jonka tehtävä on suorituskykyjen ylläpito ja taistelujärjestelmän huollon tukeminen linjoilla 1–2. Tämän tukeutumisverkoston keskeisiä tekijöitä ovat elinjaksonhallinta, kumppanuuksien hallinta ja siviili- ja sotilaskomponentin integrointi. Linjan 3 tukeutumisverkosto hyödyntää yhteiskunnan logistisia resursseja sekä kansainvälistä yhteistyötä ja tiiviillä komponenttien yhteistoiminnalla varmistetaan verkoston toimintakyky, sotilaallinen huoltovarmuus ja kriisinsietokyky. Tukeutumisverkoston toiminta perustuu kriittisten toimintojen hajauttamisesta ja kansainvälisen ulottuvuuden muodostamasta strategisesta syvyydestä. Linjaa 3 pyritään kehittämään parantamalla suorituskykyjen elinjakson ylläpitovaiheen tehokkuutta ja luotettavuutta, tehostamalla toimitusketjua ja varastointia, sekä parantamalla kansainvälisen avun vastaanottamista ja antamista. Tulevaisuuden tavoitetilassa sotilas- ja siviilikomponenttien toimintaa optimoidaan

suorituskyvyn ja kustannustehokkuuden näkökulmasta selkeyttämällä toimijoiden rooleja ja kehittämällä elinjakson ylläpidon toimintamenetelmiä. (Mikkonen 2021, 79–80.)

Linjalla 4 rakennetaan suorituskyky, jossa korostuvat vaatimusten hallinta, resurssien tehokas käyttö ja hankitun materiaalin elinjakson hallinta. Hankinnoissa pyritään käyttämään laajasti käytössä olevia, kustannustehokkaita ratkaisuja sekä kansainvälisen puolustusyhteistyön mahdollisuuksia kansallinen huoltovarmuus huomioiden. Strategisten ja kalliiden hankkeiden kunnossapitokustannuksia sekä ylläpidon toteutusta seurataan säännöllisillä elinjaksoauditoinneilla ja suorituskykyjen pitkä elinkaari varmistetaan tutkimuspohjaisella kehittyvien teknologioiden hyödyntämisellä. Suorituskykyjen rakentamisessa huomioidaan operatiiviset tarpeet, käyttäjien vaatimukset ja kansainvälinen yhteensopivuus ja sen tavoite on tuottaa uudet suorituskyvyt täsmällisesti, suunnitellun budjetin mukaisesti ja varmistaa suorituskykyjen toimivuus kaikissa valmiustilanteissa. Linja 4 tuottaa Puolustusvoimien johdolle selkää tilannekuvaa suorituskykyjen elinkaaren kokonaiskustannuksista. (Mikkonen 2021, 78–79.)

Kansainväliseen yhteensopivuuteen pohjautuvan linjoittain roolitettua logistiikkajärjestelmän rinnalla Suomen Puolustusvoimien kunnossapitoa kuvataan edelleen vanhemman määritelmän mukaisena kaksitasoisena kunnossapitojärjestelmänä, joka jakaa kunnossapidon käyttöhuoltoon ja varsinaiseen kunnossapitoon, jotka muodostuvat yhteensovitetuista sotilas- ja siviilikomponenteista.



Kuvio 4. Kunnossapidon tasot (HN637, 6)

Kunnossapitojärjestelmän tason 1A ja 1B tehtäviin sisältyvät laitteen tai järjestelmän käyttäjän vastuulla olevat tehtävät sekä koulutetun teknisen henkilöstön vastuulla olevat tehtävät ja tätä tasoa kutsutaan yleisesti kenttähuolloksi tai käyttöhuolloksi. Tasolla 2 tarkoitetaan varsinaista kunnossapitoa, joka voi olla 2A tasolla joukkotuotantoa tukevaa korjaamokunnossapitoa kuten vikakorjauksia tai huoltoja ja tasolla 2B teollista kunnossapitoa, kuten laajoja huoltoja ja vaativia vikakorjauksia tai modifikaatioita. (HN637, 6–7.)

Standardi SFS 13306:2017 luokittelee kunnossapidon tasot tehtävien vaikeusasteen perusteella esimerkkeinä, joissa:

1. Taso sisältää yksinkertaisia tehtäviä vähäisellä koulutustarpeella
2. Taso sisältää perustehtäviä, jossa vaaditaan pätevää henkilöstöä ja tarkkaa ohjeistusta
3. Taso sisältää monimutkaisia tehtäviä, joissa vaaditaan pätevää henkilöstöä ja tarkkaa ohjeistusta

4. Taso sisältää tehtäviä, jotka vaativat menetelmän tai teknologian hallintaa ja erikoistunutta teknistä henkilöstöä

5. Tason tehtävien suorittaminen vaatii kohteen valmistajan tai erikoistuneen toimittajan erityistä tietämystä, työkaluja tai välineitä. (ISO SFS 13306:2017, 15.)

Linjoittain roolitettu logistiikkajärjestelmä, tasoihin jaettu kunnossapitojärjestelmä ja SFS 13306:2017 ja sen mukaiset kunnossapidon tasot yhtenevät monilta osin. Kaikista kolmesta löytyy yhtenäisiä piirteitä kuten hierarkkisuus, selkeä vastuiden ja roolien jako, yhteistoiminta, kansainvälinen yhteensopivuus ja elinjakson kokonaisvaltainen hallinta.

Taulukko 2. Logistiikka- ja kunnossapitojärjestelmä sekä ISO SFS 13306:2017

Piirteet	Kansainvälinen linjoittain roolitettu logistiikkajärjestelmä	Tasoihin jaettu kunnossapitojärjestelmä	ISO SFS 13306:2017 ja sen mukaiset kunnossapitotasot
Hierarkkisuus ja vastuiden jako	4 linjaa, selkeä roolitus	2 ylätasoa, edelleen ja jaettu alatasoihin 1A, 1B, 2A ja 2B	5 tasoa, monimutkaisuus ja osaamisvaatimukset kasvavat ylöspäin
Roolitus ja erikoistuminen	Taistelujärjestelmän kunnossapito linjat 1-2, ylläpito elinjakson aikana linjalla 3, hankinnat ja suorituskyvyn rakentaminen linjalla 4	Käyttöhuolto tasolla 1, korjaamotason kunnossapito ja teollinen kunnossapito tasolla 2	Tehtävien selkeä jako perusosaamisesta erityisosaamiseen
Yhteistoiminta	Siviili- ja sotilaskomponenttien integraatio, linjojen välinen yhteistoiminta	Siviili- ja sotilastoimijoiden yhteistyö, strategiset kumppanuuDET	Standardin mukainen yhteistoiminta
Kansainvälinen yhteensopivuus	Tavoitteena kansainvälinen yhteensopivuus ja yhteisoperointikyky	Kunnossapitojärjestelmä tukee kansainvälistä yhteensopivuutta	Standardisoitu kansainvälinen määritelmä
Elinjaksonhallinta ja kustannusten hallinta	Suorituskykyjen elinjakson hallinta linjoilla 3-4	Materiaalin ylläpito, kustannustehokkuus	Standardin mukainen kokonaisvaltainen ylläpito ja erikoistuneet kunnossapitotoimet

3.1.4 Puolustusvoimien kunnossapitojärjestelmän vastuut

Kunnossapitojärjestelmän vastuut jaetaan kolmelle eri taholle, joita ovat suorituskyky-, järjestelmä- ja kunnossapitovastuullinen. Suorituskykyvastuu tarkoittaa kokonaisvastuuta suorituskyvyn

kehittämisen koordinoinnista, integroinnista ja vaatimusten mukaisesta ylläpidosta. Suorituskykyvastuullinen huolehtii, että elinjaksonhallintaan osallistuvilla on riittävät tiedot ja resurssit elinjakson suunnitteluun. Suorituskykyvastuullinen määrittää vaatimukset järjestelmän suorituskyvyille, käyttövarmuudelle, palautettavuudelle, omavaraisuudelle ja käyttömäärälle. Suorituskykyvastuullisia ovat Pääesikunta ja puolustushaaraesikunnat. (HN637, 4.)

Järjestelmävastuullinen vastaa materiaalisen suorituskyvyn osien suunnittelusta, rakentamisesta, ylläpidosta ja purkamisesta ja järjestelmävastuu kattaa kaiken materiaalisen suorituskyvyn elinjaksoon liittyvät toimenpiteet, kuten kunnossapitohenkilöstön osaamisen, käyttö- ja kunnossapitomenettelyt. Järjestelmävastuullinen vastaa kunnossapidossa tarvittavan osaamisen suunnittelusta ja ohjauksesta erityisesti uusien suorituskykyjen kohdalla. Järjestelmävastuu voidaan jakaa elinjakson hallinnan ylläpidon tehtäviin ja sekä suunnitteluun, rakentamiseen, käyttöön, ylläpitoon ja purkamiseen. Järjestelmävastuullisia ovat Puolustusvoimien logistiikkalaitos, Puolustusvoimien tiedustelulaitos sekä Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkeskus. (HN637, 4–5.)

Kunnossapitovastuulla tarkoitetaan vastuuta kunnossapitotehtävien toteutuksesta ja osallistumisesta kunnossapidon suunnitteluun normaali- ja poikkeusoloissa yhteistyössä järjestelmävastuullisen kanssa. Kunnossapitovastuullinen osallistuu materiaalisen suorituskyvyn rakentamiseen ja suunnitteluun järjestelmävastuullisen määrittelemällä tavalla. Kunnossapitovastuullinen vastaa järjestelmien kunnossapidosta, tekee varaosa- ja vaihtolaitteiden hankintoja, kehittää kunnossapitoa ja ylläpitää ajantasaista tilannekuvaa kunnossapidon suorituskyvystä sekä hallinnassaan olevasta materiaalista. Kunnossapitovastuullisia ovat strategiset kumppanit ja puolustusvoimien omat kunnossapitoyksiköt. (HN 637, 5–6.)

3.2 Inhimilliset tekijät

Reasonin & Hobbsin mukaan (Reason&Hobbs 2003, 19) monille insinööritaustan omaaville ihmisille psykologia voi vaikuttaa pehmeältä ja epämääräiseltä tieteenalalta, jonka sisältö on kaukana kaikista oikeista, todellisista, teknisistä ongelmista ja niiden ratkaisuista. Todellisuudessa erityisesti kognitiivisen psykologian parissa toimivat psykologit ajattelevat kuitenkin samalla tavalla järjestelmätasolla kuin insinöörit, jolloin ihmisen mieltä käsitellään tietojenkäsittelylaitteena, mutta eri tavalla kuin perinteisessä teknisessä järjestelmässä. Vaikka erilaiset aivojen kuvantamistekniikat ovat

kehittyneet, niin tämän laitteen avaaminen ja purkaminen takaisinmallinnuksen (eng. reverse engineering) hengessä ei juuri tuottaisi muuta konkreettista kuin verta, harmaata massaa ja hermojen osia, eikä sen rakenteen tutkiminen avaisi yhtään enempää ihmismielen toimintaa. Tästä syystä ihmistä tietojenkäsittelylaitteena, tai laajemmin osana järjestelmää, pitää lähestyä toista kautta esimerkiksi muistin, oppimisen, ajattelun, havaitseminen, tarkkaavuuden, luovuuden ja ongelmanratkaisun lähtökohdista. (Reason & Hobbs 2003, 19.)

Ihmisen toimintaa osana teknistä järjestelmää ja sen vaikutusta kutsutaan inhimilliseksi tekijäksi, human factors (HF), tai human factors engineering (HFE). Inhimilliset tekijät (HF) on tieteenala, mutta sitä voidaan myös käsitellä ajattelutapana, jota voidaan toteuttaa käytännön sovelluksina työn kehittämisessä. Tieteenalana HF:n tavoitteena on luoda ja kehittää teorioita, periaatteita ja menetelmiä ihmisen toimintaa liittyen. Tästä saatua tietoa käytetään järjestelmien, välineiden ja työympäristön ihmislähtöiseen kehittämiseen, jota voidaan hyödyntää tuotannon, palveluiden sekä asiantuntijatyön kehittämisessä. Toisaalta HF:tä käsitteenä käytetään kuvaamaan ympäristöön, organisaatioon, tai yksilöön liittyviä tekijöitä, jotka vaikuttavat terveyteen, turvallisuuteen tai työn tehokkuuteen ja näiden tekijöiden hallintaan voi soveltaa erilaisia perustieteitä, kuten fysiologia sekä erilaisia soveltavia tieteenaloja kuten tuotantotalous tai johtaminen. (Teperi ym. 2021, 11.)

Inhimillisissä tekijöissä ei ole kyse vain yksilön toiminnasta, vaan laajemmasta järjestelmästä, jossa ympäristö, organisaatio, työyhteisö ja yksilö ja tekniikka kytkeytyvät toisiinsa. Tällainen ajattelutapa haastaa perinteisen näkemyksen työvirheistä ja työn tehokkuuteen liittyvistä ongelmista pelkinä yksilöön liittyvinä tekijöinä. Yksilön sijaan painopiste siirtyykin kokonaisuuteen ja niihin olosuhteisiin, joissa ihmiset toimivat osana järjestelmää. (Teperi ym, 2021, 8–9.)

3.2.1 Virheiden tunnistaminen – likainen tusina

Inhimillisten virheiden esiintymistä ja tunnistamista on havainnollistettu likaisen tusinan (engl. The Dirty Dozen) avulla. 1980-luvun lopussa ja 1990-luvun alussa ilmailualalla tapahtui suuri määrä kunnossapitoon kytkeytyviä onnettomuuksia ja vaaratilanteita, joiden seurauksena tunnistettiin 12 tekijää, jotka heikentävät ihmisten kykyä toimia tehokkaasti ja turvallisesti, ja jotka voivat johtaa kunnossapitovirheisiin (FAA 2023, 14–13.)

Taulukko 3. Likainen tusina ja sen sisältö

1) Kommu- nikaation puute (Lack of Com- munication)	Epäselvät ohjeet, riittämätön tiedonkulku.
2) Omahyväisyys (Complacency)	Liiallinen itseluottamus, varsinkin rutiininomaisissa tehtävissä
3) Tiedonpuute (Lack of Know- ledge)	Riittämätön koulutus, perehdytys, osaaminen tai kokemus
4) Häiriötekijät (Distraction)	Työssä tapahtuvat keskeytykset, huomion harhautuminen muualle
5) Tiimityön puute (Lack of Team- work)	Yhteistyön puute, luottamuksen puute, roolien epäselvyys
6) Vireystila (Fati- gue)	Fyysinen tai henkinen väsymys
7) Resurssien puute (Lack of Resources)	Liian vähän aikaa tai henkilöstöä tehtävän suorittamiseen, puutteelli- set työkalut tai puuttuvat ohjeet
8) Paine (Pressure)	Aikataulupaine, kiire
9) Itsevarmuuden puute (Lack of Assertiveness)	Rohkeuden puute ilmaista tunteita, ajatuksia, tarpeita tai vaikka nos- taa epäkohtia esille
10) Stressi (Stress)	Jatkuva kiire, melu, liiallinen vastuu
11) Tietoisuuden puute (Lack of Awareness)	Toistuvista tehtävistä syntyvä vääränlainen automaatio, jonka seu- rauksena valppaus heikkenee
12) Normit (Norms)	Epäviralliset tai vakiintuneet tavat poiketa annetuista ohjeista

Useat likaisen tusinan tekijöistä ovat sellaisia, joihin voi vaikuttaa suoraan ohjeistuksen avulla. Esimerkiksi kommunikaation puutetta, tiedonpuutetta ja ”väärien” epävirallisten normien syntymistä voidaan ehkäistä selkeillä ja käytännön työn realiteetit huomioivilla ohjeilla. Ohjeet tukevat myös tiimityötä määrittelemällä selkeät roolit työn suorittajien välillä, sekä määrittelemällä tarvittavat työvälineet ja työn edellyttämät ajalliset resurssit. Lisäksi ohjeet toimivat tukena sellaisissa tilanteissa, joissa työ keskeytyy häiriöiden takia tai työn kuormituksen ollessa liian korkea ja tällaisissa tilanteissa hyvillä työohjeilla voidaan lieventää muiden inhimillisten tekijöiden, kuten häiriöiden, stressin sekä väsymyksen vaikutuksia.

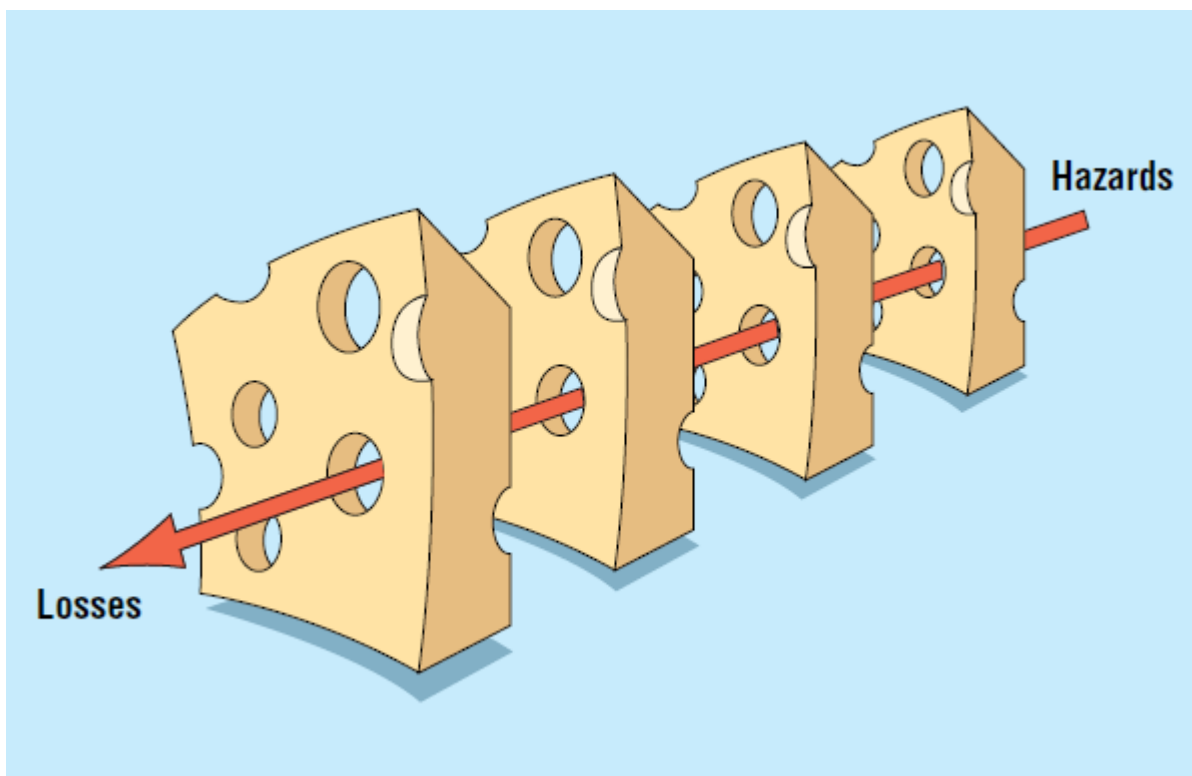
3.2.2 Reasonin reikäjuustomalli – systeemiteoria virheisiin

Työssä esiintyvät virheet johtuvat vain harvoin yksittäisen työntekijän osaamattomuudesta tai huolimattomuudesta. Yksilön sijaan nämä virheet ovat usein seurausta monimutkaisesta vuorovaikutuksesta, jossa työntekijä toimii osana teknistä, organisatorista ja sosiaalista järjestelmää. Inhimillisten virheiden ja niihin johtavien tekijöiden tarkastelu vaatii yksilön toiminnan tutkimisen lisäksi myös systeemistä näkökulmaa. (Reason, 2000.)

Eräs tunnetuimmista malleista inhimillisten virheiden ymmärtämiseksi on kunnossapidon inhimillisiin tekijöihin erikoistuneen brittiläisen psykologin James Reasonin systeemitason reikäjuustomalli (engl. Swiss Cheese Model) 1990-luvun alusta. Tämä malli havainnollistaa, kuinka vakavat tapahtumat ja poikkeamat voivat syntyä useiden suojaavien järjestelmäkerrosten samanaikaisen epäonnistumisen seurauksena.

Reikäjuustomallissa riskien hallinta perustuu monikerroksisiin puolustusjärjestelmiin, jotka voivat olla teknisiä, inhimillisiä tai hallinnollisia. Näitä puolustusjärjestelmiä kuvataan juustoviipaleina, joiden tehtävä on estää virheen eteneminen järjestelmässä. Viipaleita voivat olla esimerkiksi tekniset ratkaisut (hälytysjärjestelmät, automaattisammutukset), inhimillisiä toimijoita (lentäjät, asentajat) tai hallinnolliset ja organisaation toimenpiteet kuten ohjeistukset, koulutus ja resurssien hallinta. Jokaisessa puolustusjärjestelmän viipaleessa on kuitenkin puutteita, eli emmentalin reikiä, jotka edustavat järjestelmän heikkouksia. (Reason, 2000.)

Reasonin mukaan (Reason, 2000) nämä reikien syntyyn johtuvat tekijät jaetaan kahteen eri osaan, aktiivisiin virheisiin ja piileviin tekijöihin. Aktiiviset virheet ovat yksittäisten työntekijöiden suorittamia toimia, jotka vaikuttavat suoraan järjestelmän turvallisuuteen. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi lipsahdukset, unohtamiset ja sääntöjen rikkomukset. Piilevät tekijät taas ovat sellaisia, jotka liittyvät organisaation rakenteisiin tai toimintaympäristöön, kuten puutteellinen suunnittelu, riittämättömän koulutus, resurssien vähyys tai epärealistiset aikataulut. Nämä piilevät tekijät voivat olla pitkään näkymättömissä ennen kuin ne yhdistyvät muiden heikkouksien kanssa ja aiheuttavat onnettomuuden tai poikkeaman. (Reason, 2000.)



Kuvio 5. Reasonin reikäjuustomalli puolustusjärjestelmän petettyä (Reason 2000)

Onnettomuus tai poikkeama tapahtuu, kun useiden puolustuskerrosten reiät sattuvat hetkellisesti samalle linjalle muodostaen onnettomustrajektorin, jonka kautta ei toivottu tapahtuma etenee järjestelmän suojakerrosten läpi. Vakavat poikkeamat edellyttävät lähes poikkeuksetta sekä aktiivisia virheitä että piileviä tekijöitä. Reikäjuustomalli korostaa järjestelmälähtöistä ajattelua ja pyrkii siirtämään huomion pois yksilön syyllistämisestä kohti koko organisaation rakenteellisten heikkouksien tunnistamiseen ja korjaamiseen. (Reason, 2000.)

Selkeä ja käyttäjälähtöisesti suunniteltu työohje voi toimia reikäjuustomallin yhtenä juustoviipa-leena, joka estää virheen etenemisen järjestelmässä. Tämä on täysin linjassa reikäjuustomallin kanssa; mikäli yksittäisiä virheitä ei voida täysin poistaa, järjestelmän rakenteita voi kehittää siten, että ne kestävät virheiden vaikutuksia ja estävät niiden yhdistymisen vakaviksi poikkeamiksi

Inhimillisiä tekijöitä ja turvallisuutta ei tule kunnossapidon yhteydessä tarkastella irrallaan tuottavuudesta, vaan päinvastoin ymmärtää ne osana tuottavuutta. Kunnossapitoprosessien häiriöttömyys vaikuttaa suoraan toiminnan jatkuvuuteen ja liiketoiminnan kannattavuuteen. Virheiden ehkäisy, suunnittelemattomien tuotantokatkojen minimointi ja tehokas resurssien käyttö ovat kaikki sellaisia asioita, joissa korostuu inhimillisten tekijöiden hallinta. Inhimillisten tekijöiden huomioiminen kunnossapidon suunnittelussa, ohjeistuksessa ja johtamisessa tukee organisaation turvallisuustavoitteita, toiminnan laatua sekä liiketoiminnallisia tavoitteita.

4 LEAN näkökulma – standardoitu työ

Standardoitu työ on lähtöisin toisen maailmansodan aikaisesta Yhdysvalloissa kehitetystä ohjelmasta, Training Within Industry (TWI), jonka tavoitteena oli kouluttaa nopeasti uusia ja kokemattomia työntekijöitä teollisuuden tarpeisiin sodan aikaisessa työvoimapulassa. TWI-ohjelmassa kehitettiin menetelmiä, joiden tarkoituksena oli jakaa työ selkeisiin osiin, opettaa ne systemaattisesti samalla tavalla ja toistaa ne luotettavasti. TWI:n keskeisenä ajatuksena oli, että työn onnistuminen riippuu siitä, että miten hyvin työ on määritelty ja kuinka tehokkaasti se osataan opettaa työntekijälle. Tämän pohjalta syntyi käsite *standardized work*, jolla viitattiin parhaan tunnetun työtavan kuvaamiseen ja sen järjestelmälliseen siirtämiseen käytännön työhön. (Huntzinger 2002, 9–10.)

Toisen maailmansodan jälkeen TWI-ohjelmaa vietiin osana jälleenrakennusapua myös Japaniin, jossa se sai erityisen vahvan jalansijan. Toyota Motor Corporation otti ohjelman käyttöön ja kehitti siitä oman tuotantojärjestelmänsä ytimen. TWI:n menetelmät – erityisesti työn opettaminen, työn kehittäminen ja johtaminen – sulautuivat nopeasti Toyotan ajatteluun ja muodostivat perustan modernille Lean-ajattelulle. (Huntzinger 2002, 14.)

Kilposen ja Jokisen mukaan (2020, 20-22) standardoitu työ on Lean-ajattelun keskeinen menetelmä, jonka tavoite on tukea tuotannon tasapainottamista, perehdyttämistä ja jatkuvaa parantamista. Standardoidun työn suunnittelussa hyödynnetään työntekijöiden käytännön osaamista, koska heillä on paras näkemys työstään ja sen haasteista.

Käytännön näkökulmasta standardoitu työ toimii ennen kaikkea keinona hallita inhimillisiä virheitä. Misiurek (2016, xii-xiii) korostaa, että vaikka automaatio vähentää ihmisen suorittamaa työtä, se ei kuitenkaan poista inhimillisten virheiden mahdollisuutta, vaan se ainoastaan siirtää ne toiseen paikkaan. Työprosessien luotettavuus perustuu Misiurekin (2016, xii) mukaan siihen, kuinka hyvin ihmiset ymmärtävät työnsä, kuinka hyvin heidät on perehdytetty, ja kuinka selkeästi työ on heille kuvattu. Tästä syystä standardoinnin keskiössä tulee olla työntekijän osaamisen systemaattinen kehittäminen ja ohjeiden selkeys. Misiurekin (2016, xii) mukaan työohjeiden suunnittelun ohella standardointi on ennen kaikkea tapa muuttaa organisaatiokulttuuria ja johtaa työn laatua ihmisten kautta.

4.1 Standardoidut työohjeet

Työohjeet ovat keskeinen osa työn standardoinnin prosessia. Misiurekin (2016, 11) mukaan Locher esittää, että työohjeiden avulla jäsennetään tuotantoprosessin vaiheet ja varmistetaan työn yhdenmukainen suorittaminen. Työohjeiden merkitys ei kuitenkaan rajoitu pelkkään työvaiheiden dokumentointiin, vaan ne toimivat myös keskeisenä välineenä työntekijöiden koulutuksessa sekä jatkuvassa parantamisessa. Lisäksi ohjeet voivat tukea prosessien auditointia ja auttaa tuomaan esiin kriittisiä kohtia esimerkiksi turvallisuuden, laadun ja työmenetelmien oikeellisuuden näkökulmista. (Misiurek 2016, 11.)

Teollisuudessa käytetään erilaisia työohjeiden pohjia. Yksi yleisimmistä, erityisesti lyhytjaksoisessa työssä käytetty, on standardized work combination table (SWCT), jossa työ pilkotaan työelementteihin. Misiurek (2016, 11) huomauttaa, että pelkästään elementteihin pilkotut ohjeet jäävät usein pinnallisiksi, sillä ne eivät ota huomioon sitä, että miten kukin työelementti tulisi suorittaa ja miksi valittu suoritusmuoto on paras mahdollinen. Hänen mukaansa paras työohjemalli perustuu TWI:n Job Instruction -menetelmään, jossa ohjeet jaetaan kolmeen osaan: päävaiheisiin (major steps), avainkohtiin (key points) ja avainkohtien perusteluihin (reasons for key points). Tällainen jaottelu ei ainoastaan kuvaa työn suoritusjärjestystä, vaan myös havainnollistaa, mitä kussakin vaiheessa

on tehtävä, miten tehtävä suoritetaan oikein ja miksi juuri kyseinen suoritusmuoto on tarkoituksenmukainen.

Avainkohtien ja niiden perustelujen sisällyttäminen työohjeisiin tukee myös tehokasta työnopastusta ja vähentää inhimillisten virheiden riskiä. Työntekijä ei ainoastaan opi työprosessia, vaan ymmärtää myös toimintatapojen taustalla olevat syyt. Misiurekin (2016, 11) mukaan useimmissa organisaatioissa työohjeet sisältävät kyllä päävaiheet ja joskus myös avainkohdat, mutta perustelut puuttuvat pääsääntöisesti kokonaan. Hän kehottaakin tarkastelemaan oman organisaation työohjeita kriittisesti sen suhteen, tarjoavatko ne riittävästi ymmärrystä työn suorituslogiikasta – monissa tapauksissa näin ei häneen mukaansa ole.

Laadukas TWI:n mukainen työohje, standard work instruction SWI, sisältää useita keskeisiä elementtejä. Näiden tehtävä on varmistaa ohjeiden selkeys, toiminnallisuus ja virheiden ehkäisy. Ensinnäkin ohjeessa tulee olla selkeä kuvaus siitä, *mitä* tehtävässä työssä tehdään, eli niin sanotut päävaiheet (*major steps*). Tämän lisäksi ohjeessa tulee esittää, *miten* kukin päävaihe suoritetaan (*key points*), sekä *miksi* tietty suoritustapa on valittu (*reasons*). Tämän lisäksi ohjeissa tulisi olla mukana arvio suoritukseen tarvittavasta ajasta, käytettävistä työkaluista sekä tarvittaessa myös valokuvia, jotka havainnollistavat työn kannalta keskeiset avainkohdat. Tällaisen rakenteen noudattaminen ei ainoastaan paranna ohjeen käytettävyyttä, vaan myös tukee osaamisen siirtämistä ja yhdenmukaisen työskentelyn toteutumista eri työntekijöiden välillä. Juuri nämä periaatteet erottavat laadukkaat SWI-ohjeet yksinkertaisista työkuvauksista. Hänen mukaansa on erityisen tärkeää, että avainkohdat eivät jää käyttäjän tulkinnan varaan, vaan ne kuvataan ja perustellaan tarkasti, mahdollisimman visuaalisesti ja konkreettisesti. (Misiurek 2016,12.)

TWI Job Instruction -menetelmässä käytetään työtehtävän purkulehteä (Job Breakdown Sheet, JBS), jossa eritellään työprosessin päävaiheet, niiden avainkohdat sekä kunkin avainkohdan perustelut. TWI:n mukaisesti työtehtävän purkulehti toimii koulutuksen suunnittelun ja toteutuksen tukena, mutta sen pohjalta voidaan tehdä myös laajempi standardoitu työohje, Standard Work Instruction, SWI. SWI-ohjeessa esitetään samat päävaiheet, avainkohdat ja perustelut, mutta niiden lisäksi siihen sisällytetään muita elementtejä, joiden tehtävä on tukea työntekijän oppimista ja suorituksen varmistamista. (Misiurek 2016,14.)

Table 2.1 Job Breakdown Sheet

<i>Major Steps</i>	<i>Key Points</i>	<i>Reasons for Key Points</i>

Kuvio 6. Job Breakdown Sheet (Misiurek 2016, 4, muokattu)

JBS:ään verrattuna SWI:n sisältöä on laajennettu seuraavilla osilla:

-Symboleilla, joilla luokitellaan avainkohtien perustelut

-Aika, joka kuluu päävaiheen suorittamiseen

-Valokuvilla ja kaaviolla, jotka havainnollistava avainkohdat

Table 2.2 Standard Work Instruction

<i>Pictures/Diagrams</i>	<i>Major Steps</i>	<i>Time</i>	<i>Key Points</i>	<i>Symbol</i>	<i>Reasons for Key Points</i>

Kuvio 7. Standard Work Instruction (Misiurek 2016, 15, muokattu)

4.2 Standardoidun työohjeen laadinnan keskeiset tekijät

Misiurekin (2016, 17) mukaan päävaihe (major steps) on työn osa, joka tarkoittaa konkreettista edistymistä työprosessissa. Päävaiheen määrittäminen vastaa kysymykseen, että mitä ollaan tekemässä? Kaikki suoritettavat työvaiheet eivät kuitenkaan automaattisesti ole päävaiheita. Käytännössä päävaihe voidaan tunnistaa arvioimalla, tapahtuuko kyseisen toimenpiteen aikana todellista etenemistä työn kokonaistavoitteiden suuntaan. Jos vastaus on myöntävä, kyseessä on päävaihe. Misiurek (2016, 17) toteaa lisäksi, että päävaiheiden erottaminen on standardoidun työohjeen (SWI) valmistelun helpoin osa, jotka voidaan listata havainnoimalla työntekijää suorituksen aikana.

Päävaiheiden määrittämisen jälkeen seuraava vaihe SWI:n laadinnassa on tunnistaa kaikki avainkohdat (key points), jotka liittyvät kuhunkin päävaiheeseen. Misiurekin (2016, 17) mukaan avainkohdat ovat sellaisia, jotka voivat johtaa joko työn oikeaan tai virheelliseen suoritukseen, työntekijän loukkaantumiseen tai työn kehittymiseen hyväksi todettujen käytäntöjen tai oivalluksien avulla.

Misiurek (2017, 17) huomauttaa, että useimmissa organisaatioissa avainkohdat liittyvät ainoastaan työn laatuun, oikeellisuuteen tai työturvallisuuteen. Sellaisissa organisaatioissa, joissa TWI-menetelmää ei ole aiemmin käytetty, työohjeisiin ei yleensä sisällytetä työntekijöiden kehittämiä oivalluksia, vaikka ne olisivat syntyneet vuosien kokemuksen myötä. Tämä johtaa siihen, että eri työntekijät ja osastot suorittavat samoja työtehtäviä eri tavoilla, mikä vähentää työn yhdenmukaisuutta.

Varsinaisten avainkohtien ja oivallusten välinen ero on selkeä. Työn oikeellisuuteen liittyvät avainkohdat ovat sellaisia, jotka tulee suorittaa oikein päävaiheen onnistumiseksi, kun taas oivallukset ovat sellaisia, jotka tehostavat tai helpottavat suoritusta, mutta eivät ole välttämättömiä (Misiurek 2016, 17). Misiurek (2016, 17) arvioi, että jopa 30–40 % oivallustyyppisistä avainkohdista liittyy vaikeisiin tai monimutkaisiin työvaiheisiin, jotka tunnistetaan yleensä kokemuksen kautta ja niiden kirjaaminen SWI-ohjeisiin on tärkeää, sillä niiden avulla voidaan yleensä nopeuttaa uusien työntekijöiden perehdytystä.

Päävaiheet kuvaavat työprosessin etenemistä, mutta avainkohdat keskittyvät työn suoritustapaan, eli niihin yksityiskohtiin, jotka ovat erityisen alttiita inhimillisille virheille. Misiurekin (2016, 17) mukaan avainkohtien oikea tunnistaminen on yksi haastavimmista tehtävistä SWI:n laadinnassa, ja siksi suuri osa ohjeiden laatimisen periaatteista liittyy juuri avainkohtiin.

Avainkohtien tunnistaminen ei yksin riitä varmistamaan tehokasta ja yhdenmukaista työn suoritusta. Misiurekin (2016, 18) mukaan jokaisen avainkohdan yhteyteen tulisi liittää perustelu, joka selittää, miksi kyseinen avainkohta on tärkeä ja miksi se on suoritettava tietyllä tavalla. Ilman perusteluita työntekijä saa kyllä tiedon siitä, että mitä ja miten jokin asia tulee tehdä, mutta ei ymmärrä, miksi juuri tämä toimintatapa on tarkoituksen mukainen.

Misiurek (2016, 18) korostaa, että perustelujen puuttuminen on yksi keskeinen syy siihen, miksi eri työntekijät tai osastot saattavat toteuttaa samoja työtehtäviä eri tavoin. Työntekijät eivät omaksu työn suoritukselle asetettua standardia, jos he eivät ymmärrä sen taustalla olevia syitä. Tietoisuuden lisääminen työprosessien tarkoituksenmukaisuudesta onkin yksi TWI-menetelmän keskeisistä tavoitteista. Vaikka perusteluiden kirjaaminen ei ole aina helppoa ja luontaista, niin Misiurek (2016, 18) esittää, että jokaisen avainkohdan yhteyteen tulisi lisätä lyhyt ja selkeä perustelu, koska näin tuetaan sekä oppimista että työohjeen pysyvyyttä.

5 Laatujärjestelmä ja sen vaatimukset työohjeille

5.1 Laatu

Laatua ja siihen liittyviä tekijöitä käsittelee kansainvälisesti standardeista tunnetuimpana ISO 9000-sarja, jossa ISO 9000 sisältää laadunhallintajärjestelmän perusteet ja käsitteet, ISO 9001 laadunhallintajärjestelmän vaatimukset ja ISO 9004 käsittelee jatkuvaa parantamista ja laadunhallinnan kehittämistä.

ISO 9000:2015 mukaisesti määritelmä laadulle on ”se, missä määrin kohteen luontaiset ominaisuudet täyttävät vaatimukset” (ISO 9000:2015, 23.) Laatua painottavan organisaation tavoitteena on luoda kulttuuri, jonka avulla organisaatio täyttää asiakkaiden ja muiden sidosryhmien odotukset. Organisaation tuottamien palveluiden laatu määrittyy sillä, että miten hyvin ne voivat täyttää asiakkaiden vaatimukset. (ISO 9000:2015, 6.)

ISO 9004:2018 käsittelee laatua organisaation laatuna, mikä käsittää sen, että missä määrin organisaation ominaisuudet täyttävät asiakkaan ja muiden sidosryhmien odotukset. Tämän standardin mukaan laatu on organisaation menestyksen edellytys ja tarkoittaa muutakin kuin vain yksittäisen tuotteen tai palvelun laatua ja sen tulee kattaa koko organisaation kyvykkyys, sekä käsittää organisaation kyky ennakoita ja hallita sidosryhmien tarpeita ja odotuksia. (ISO 9004:2018, 7–8.)

Laadulla tarkoitetaan siis sitä, kuinka hyvin joku tuote, palvelu tai prosessi täyttää asiakkaan ja muun sidosryhmän asettamat vaatimukset. Laadulla ei siis tarkoiteta pelkästään tuotteen tai palvelun korkeaa tasoa, vaan kykyä täyttää sille asetetut vaatimukset jatkuvasti ja luontevasti.

5.2 Laadunhallintajärjestelmä

Laadunhallintajärjestelmällä tarkoitetaan toimintoja, joilla organisaatio asettaa tavoitteet, luo niiden mukaiset prosessit ja antaa toteuttamiselle tarvittavat resurssit. Laadunhallintajärjestelmän avulla ohjataan näitä toimintoja ja sen avulla tuetaan ylimmän johdon resurssien ohjausta ja päätöksentekoa sekä hallitaan tuotteiden ja palveluluiden tuottamisen aiheuttamia seurauksia. (ISO 9000:2015, 7.)

Organisaatioissa pyritään lähtökohtaisesti varmistamaan, että niiden tuottamat palvelut ja tuotteet täyttävät vaatimukset, sekä ovat tehokkaita ja taloudellisia. Kun erilaiset näihin liittyvät toiminnot ja niiden väliset vuorovaikutukset tunnistetaan ja kootaan yhteen, syntyy laadunhallintajärjestelmä, mikä sisältää ja mahdollistaa tavoitteiden asettamisen ja jatkuvan kehittämisen.

Laadunhallintajärjestelmää kutsutaan yleisesti myös laatujärjestelmäksi tai toimintajärjestelmäksi. Järjestelmän uskottavuuden takia sen toiminta tulee myös dokumentoida asiainmukaisesti, mutta huomioida se, että dokumentaatio on vain työkalu. Laadunhallintajärjestelmän tavoite ei siis ole tuottaa dokumentaatiota, vaan kehitystyön tulee keskittyä toiminnan ja prosessien parantamiseen. (Puolustusvoimat 2019, 4–6.)

Puolustusvoimat vaatii hankintasopimuksissa materiaalin tai palvelun toimittajalta ISO-standardeihin perustuvia NATO:n AQAP-julkaisujen mukaista toimintaa. Näiden julkaisujen keskeisenä periaatteena on, että toimittajan tulee varmistua, että toimitettava tuote tai palvelu täyttää sopimusvaatimukset ja tuottaa myös näytön siitä. Jotta AQAP-2110 mukainen hankintasopimus on

toteuttamiskelpoinen, toimittajalla tulee olla laadunhallintajärjestelmä, joka täyttää kyseisen julkaisun vaatimukset. (Puolustusvoimat 2019, 3.)

5.3 Laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen tavoite on synnyttää luottamus siihen, että vaatimukset täytetään. Laadunvarmistuksen tavoite siis on ehkäistä virheet ennalta, eikä vain löytää niitä jälkikäteen. (ISO 9000:2015, 19). Luottamuksen synnyttämisen keskeisin tekijä on toimittajan aktiivinen kommunikointi ja aktiivinen avoin tiedottaminen niistä toimenpiteistä, joilla vaatimustenmukaisuus voidaan varmistaa. Tämän viestinnän ja toimenpiteiden toteutuksen tulee olla etukäteen hyvin suunniteltua, jotta luottamus saavutetaan.

GQA (Government Quality Assurance) tarkoittaa puolustushallinnon edustajien suorittamaa laadunvarmistusta, jonka tavoitteena luoda luottamusta siihen, että hankinta vastaa sen vaatimuksia. GQA käsittää toimittajan ja sen tuottaman objektiivisen AQAP 2110 mukaisen näytön arviointia ja sen erityispiirteenä on, että laadunvarmistustoimet keskittyvät erityisesti toimittajaan liittyvien riskien arviointiin ja tarkasteluun. GQA toimenpiteitä voidaan tehdä toimittaja-auditoinneilla ja arvioimalla toimittajan suunnitelmia sekä seuraamalla ja valvomalla toimittajan toimintaa koko hankintasopimuksen ajan. Kun hankintasopimus on solmittu, niin GQAR:lle, eli laadunvarmistusedustajalle syntyy oikeus seurata ja arvioida toimittajan toimintaa ja puuttua siihen tarvittaessa. (Puolustusvoimat 2019, 5–7.)

5.4 SFS-EN ISO 9001:2015 mukainen kunnossapitoa ohjaava dokumentaatio

ISO 9001:2015 ei suoraan määritä, kuinka kunnossapidon dokumentaatiota, kuten huolto-ohjetta tulisi laatia, mutta se asettaa laatujärjestelmän vaatimukset tekniselle dokumentaatiolle ja sen sisällölle. Keskeisin niistä on standardin kohta 7.5, joka koskee dokumentoitua tietoa. Standardin sisältöä ei esitetä tässä yhteydessä, vaan standardin vaatimukset huollon työohjeelle esitetään tämän tutkimuksen luvussa 7.2.

6 CASE: Kunnossapidon työohjeiden kehitys ilmailualalla

6.1 Tutkimusasetelma

Tapaustutkimuksen perusajatuksena on, että tarkastelemalla jotain tarkasti rajattua tilannetta tai esimerkkiä voidaan ymmärtää laajempia ilmiöitä syvällisemmin. Tapaustutkimuksessa ei pyritä laajoihin yleistyksiin, vaan luotetaan siihen, että yksityiskohtainen ja havainnollinen analyysi tarjoaa mahdollisuuden ymmärtää ilmiötä syvemmin ja soveltaa siitä opittua myös muissa vastaavissa konteksteissa. (Vuori 2021.)

Tutkimus on dokumenttiaineistoon pohjautuva tapaustutkimus, jossa tarkastellaan ilmailun kunnossapidon tarkistuslistojen ja työohjeiden kehitystä Yhdysvaltain ilmailuviranomaisen FAA:n tutkimusraporttien ja niistä esiin nousseiden asioiden pohjalta. Tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa aineistoista niitä tekijöitä, joita voidaan hyödyntää huollon työohjeiden kehittämisessä puolustus-teollisuuden kunnossapidossa. Tutkimuksessa ei kerätty empiiristä aineistoa, kuten haastatteluja tai kyselyitä, vaan aineisto perustuu laadukkaisiin viranomaistason dokumentteihin. Näiden avulla pyrittiin ymmärtämään, miten ilmailun kunnossapidon käytännöt ja ohjeistukset ovat kehittyneet, ja mitä tämä kehityskulku voi opettaa työohjeiden käytettävyydestä, rakenteesta ja niiden vaikutuksesta käytännön kunnossapitotyön onnistumiseen.

Tutkimuksen tavoitteena oli muodostaa perusteltu näkemys siitä, että millainen on hyvä työohje. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti turvallisuuskriittisen kunnossapidon toimintaympäristöön, jossa työn laatu ja virheiden ehkäisy ovat keskeisiä vaatimuksia.

Tutkimusaineisto valittiin siksi, että se käsittelee kunnossapitoympäristöjä, joissa turvallisuus, tarkkuus ja dokumentoitu toiminta ovat keskeisiä onnistumisen ja kunnossapidon kohteen suorituskyvyn kannalta. Vaikka FAA toimiikin siviili-ilmailussa, sen ohjeistuksen periaatteet ovat sovellettavissa huomattavasti laajemmin erityisesti niissä ympäristöissä, joissa kunnossapidon työohjeet vaikuttavat suoraan turvallisuuteen ja järjestelmien toimintakykyyn. FAA:n dokumentit valittiin ai-

neistoksi myös sen vuoksi, että ne ovat julkisesti saatavilla ja yleisesti alalla arvostettuja. Dokumentit edustavat viranomaistason tutkimustietoa, joka on tuotettu tieteellisen tutkimusprosessin pohjalta, joka mahdollisti hyvän perustan analyysille.

Tutkimusaineiston analyysi perustui suoraan tulkintaan. Kaikessa tutkimuksessa on jossain määrin kyse tulkinnasta, mutta suora tulkinta eroaa koodatusta analyysistä siinä, että aineistoa tarkastellaan kokonaisuutena ilman systemaattista koodausta ja analyysin tavoitteena on ymmärtää ilmiöitä niiden omassa kontekstissa ja tuottaa aineistolähtöisiä havaintoja ilman tiukkoja luokittelurakenteita (Eriksson & Koistinen 2014, 34). Tässä tutkimuksessa aineiston suora tulkinta mahdollisti aineistosta nousevien historiallisten kehityspolkujen tarkastelun.

Ensimmäisen aineiston dokumenteista tarkasteluun valikoitui tutkimuksen alun tiedonhakuvaiheessa esiin tullut FAA:n raportti PHASE 5, jossa käsitellään työohjeiden parantamista ja jonka pohjalta tapausta alettiin rakentamaan. Analyysi toteutettiin etsimällä aineistosta tutkimuskysymyksiin vastaavia teemoja ja kehityspolkuja. Analyysin pohjalta tehdyt löydökset esitettiin tiivistysti viitaten alkuperäisiin dokumentteihin. Tapauksen analyysi rakentui seuraavassa järjestyksessä dokumentin julkaisuvuoden mukaan: PHASE 5 1995 > PHASE 3 1993 > PHASE 1 1991 > 1935 onnettomuus (tapahtumavuosi) > FAA:n työpaja 2012.

FAA:N tutkimus kesti käytännössä koko 90-luvun ja sen raporttisarja on erittäin laaja ja käsittelee todella paljon muitakin asioita kuin pelkästään kunnossapidon työohjeita, joten CASE tapaus keskittyy vain niihin raportteihin ja niiden osiin, jotka liittyvät suoraan tutkimusasetelmaan. PHASE 3 raportissa, jossa käsitellään eniten työohjeita ja niiden suunnitteluperusteita, työohjeita koskeva luku on yksi raportin kahdeksasta luvusta ja kattaa siitä sivut 113–132 / 152, eli kyseisestä raportista n. 13 %.

Tapaus esitetään seuraavissa luvuissa historiallisessa aikajärjestyksessä. Luvun 6.2 sisältö poikkeaa jossain määrin muusta tutkimuksesta, koska siinä käsitellään tarkistuslistojen syntyhetkeä selkeästi historiallisena kuvauksena, mikä toimii johdantona myöhemmälle kehityskululle.

6.2 1935 Ilmailun tarkistuslistat ja niiden historia

Jotta ilmailun kunnossapidossa käytettäviä työohjeita voidaan syvällisemmin ymmärtää, tulee tietää taustat niiden syntymiseen, jotka löytyvät lentokoneen miehistön ja matkustamohenkilökunnan käyttämistä tarkistuslistoista. Tällaisella tarkistuslistalla tarkoitetaan järjestyksessä tehtävää luetteloa, jonka mukaan kohta kohdalta tehdään ja tarkistetaan eri asioita, jotka suoritetaan lennon eri vaiheissa moottorien käynnistyksestä laskeutumiseen ja jokaisessa vaiheessa tämän listan tarkoitus on auttaa varmistamaan, että lentokone (järjestelmä) toimii tilanteen mukaisesti oikein ja turvallisesti. Kirurgi ja kirjailija Atul Gawande (2010, 35), joka on ollut kehittämässä Maailman terveysjärjestön WHO:n leikkaussaleissa käytettäviä tarkistuslistoja, ajoittaa tarkistuslistojen synnyn vuonna 1935 tapahtuneeseen Boeing Model 299:n onnettomuuteen.

6.2.1 Boeing B299 onnettomuus

Tarkistuslistojen synty juontuu alun perin onnettomuuteen, kuten moni muukin käännteentekevä asia. Boeing kehitti 1930-luvulla nelimoottorisen Model 299 pommikoneen vastauksena Yhdysvaltain armeijan ilmavoimien hankkeeseen uuden pitkän matkan pommikoneen hankinnasta vuonna 1934 käyttöönotetun B-10 koneen tilalle. Model 299, jonka tuotantoversio myöhemmin tultiin tuntemaan nimellä B-17 Flying Fortress, teki ensilentonsa heinäkuussa 1935. Testilennon jälkeen testilentäjänä toiminut pilotti kuvaili koneen käytöstä siten, että ”kone oli kuin pieni laiva, mutta vain vähän isompi”. Jo elokuussa 1935 B299 lensi ilman välilaskuja 3300 kilometrin matkan Seattlelta Daytoniin tälle aikakaudelle huomattavalla yli 370 km/h keskinopeudella osallistuakseen hankkeen vertailutapahtumaan. Perille päästyään koneen kapteeni ihmetteli, miksi kukaan ei ollut heitä vastassa; syy oli siinä, että kukaan ei odottanut heitä saapuvaksi vielä ainakaan tuntiin. Ottaen huomioon koneen nopeuden suhteen painoon ja kokoon, sekä suojauksen ja nelimoottorisuuden tuoman luotettavuuden, hankintaa arvioineet hallinnon edustajat pitivät sitä tässä vaiheessa sensaationa. Model 299 vaikutti ylivertaiselta verrattuna kilpailijoihin ja yleinen tuntuma oli, että hankinta olisi ratkennut jo tässä vaiheessa ennen kuin varsinaisen testaus alkoikaan. (Meilinger, 2004.)

30.10.1935 Model 299 valmistautui hankkeen henkilöstön seuraamaan koelentoon Wright Fieldin lentotukikohdassa Daytonissa. Koneen lentäjänä toimi koelentäjä majuri Hill ja perämiehenä luut-

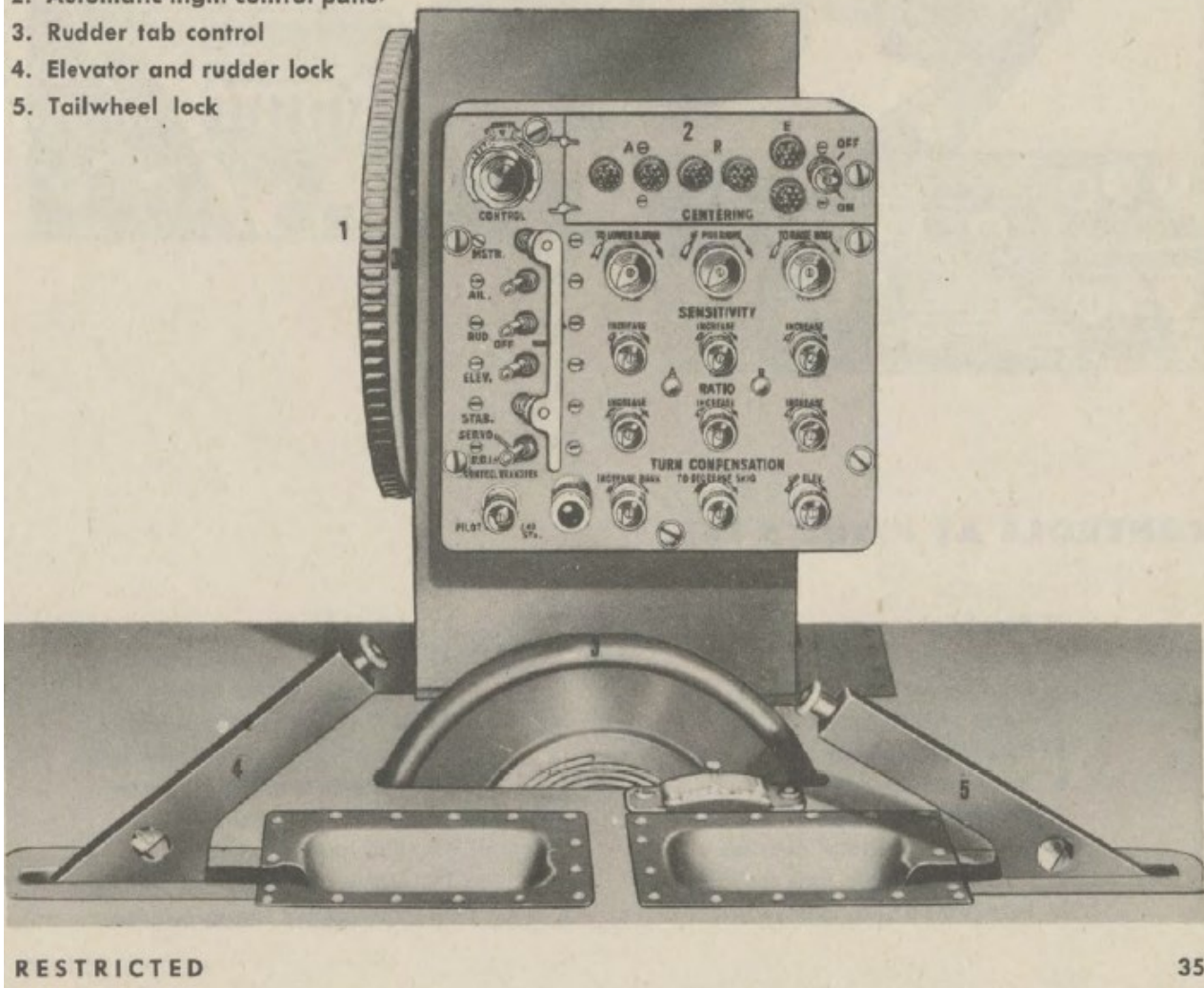
nantti Putt, lisäksi koneen kyydissä olivat miehistönä insinööri Cutting, mekaanikko Koogler ja tarkkailijana ohjaamossa seisova Tower. Rullaus ja lentoönlähtö sujui täysin normaalisti, mutta nousukulma oli aivan liian jyrkkä, kone saavutti n. 90 metrin korkeuden, sakkasi, kallistui sivulle ja syöksyi maahan, jonka jälkeen se syttyi räjähtäen palamaan. Cutting ja Koogler pääsivät pakenemaan palavan koneen hyllyn takaosasta lähes vahingoittumana, sekä Putt ja Tower selvisivät ohjaamosta pois verisinä ja sekavina. Lentäjänä toiminut Hill jäi loukkuun ohjaamoon, koska hänen jalkansa oli juuttunut polkimiin, mutta kaksi onnettomuuspaikalle saapunutta henkilöä saivat pelastettu hänet ikkunasta, mutta saivat samalla itse myös pahoja palovammoja. Hill ei kuitenkaan itse palannut tajuihinsa ja menehtyi heti seuraavana päivänä. Lisäksi Tower, joka syytti itseään onnettomuudesta, kuoli pian tapahtuman jälkeen. (Meilinger, 2004.)

Onnettomuustutkinnan hoiti Yhdysvaltain armeijan U.S. Army Air Corpsin (USAAC) nimeämä sotilastutkijalautakunta, Board of Officers. Kyseessä oli upseereista, teknisistä asiantuntijoista ja insinööreistä muodostettu elin, joka toimi osana sisäistä tutkintaa. Lautakunta totesi, että koneen teknisessä rakenteessa tai moottoreissa ei ollut mitään vikaa, vaan onnettomuus johtui lentokoneen miehistön tekemistä toimista ja päätöksistä. 15.11.1935 tutkijalautakunta julkaisi raportin, mikä kertoi selkeän syyn onnettomuudelle: kone tippui, koska koneen ohjainpinnat olivat lukittuina lentoönlähdön aikana, mikä esti lentäjää säätämästä koneen kulmaa nousun aikana. Mekaanisen lukitusjärjestelmän (elevator and rudder lock) tarkoitus oli estää ohjainpintojen liikettä koneen ollessa maassa suojaen pintoja ja niiden mekanismeja kovan tuulen aiheuttamilta vaurioilta tai muilta ulkopuolisilta niihin kohdistuvilta voimilta. Lukitusjärjestelmää ohjattiin vivulla, joka piti painaa alas, jotta lukitus vapautuu (Meilinger, 2004.)

Koneen rakenne oli siten tehty, että lukituksen päällä olo ei estänyt rullaamista ja lentoönlähtöä, mikä inhimillisen tekijän: miehistön unohduksen, myötä johti onnettomuuteen. Onnettomuuden takia B299 hävisi hankinnassa Douglaksen DB-1 koneelle, joka myöhemmin tunnettiin nimellä B-18 Bolo. Yhdysvaltain armeijan ilmavoimat päätteli onnettomuuden takia, että B299 oli aivan liian monimutkainen käytettäväksi ja vaativan koneen henkilöstöltä erityistä osaamista, jotta sitä voitiin käyttää turvallisesti. (Model 299 Crash.)

LOWER CONTROL PEDESTAL

1. Elevator trim tab control
2. Automatic flight control panel
3. Rudder tab control
4. Elevator and rudder lock
5. Tailwheel lock



Kuvio 8. Lukituksen käyttövipu "Elevator and rudder lock" merkitty kuvassa numerolla 4. (U.S. Army 1944, 35). Kuvassa tulee huomioida, että vaikka se on leimattu "RESTRICTED", niin sen salaus on sittemmin purettu ja dokumentti on täysin julkisesti saatavilla.

6.2.2 Onnettomuustutkinta ja tarkistuslistojen synty

Ennen onnettomuutta järjestelmien suunnittelu perustui siihen, että ihmisen tulee oppia sekä sopeutua käyttämään teknistä järjestelmää. Onnettomuus kuitenkin muutti tämän ajattelun siten, että teknisten ratkaisujen tulee tukea ihmistä ja ihmisen toimintaa. Kun onnettomuudessa koneen perämiehenä toiminutta Puttia haastateltiin vuonna 1974, hän kertoi, että kone lähti lentoon jär-

jestelmän ollessa lukittuna, koska heillä oli kiire. Hänen mukaansa kone oli ensimmäinen, josta ohjaimet voitiin lukita koneen ohjaamosta käsin ja koska minkäänlaista ohjetta, tarkistuslistaa, ei ollut, he eivät muistaneet vapauttaa lukitusta ennen nousua. (Schultz, 2012.)

Onnettomuuden ja sen tutkinnan seurauksena USAAC totesi, että ongelmana ei ollut pommittajan monimutkaisuus tai muut tekniset ominaisuudet, vaan se että lentäjät luottivat omaan muistiinsa. Tämän takia ymmärrettiin, että inhimillinen tekijä: ihmisen muisti ja sen rajallisuus oli riskitekijä. Tämä johti siihen, että lentokoneille kehitettiin systemaattinen menetelmä, tarkistuslista, jonka tarkoituksena oli minimoida ihmisen toiminnasta johtuvat virheet ja unohdukset. Tarkistuslista sisältää selkeät, yksinkertaiset ja johdonmukaisesti esitetyt vaiheet ja tarkistettavat asiat, jotka tehdään tietyssä vakioidussa järjestyksessä. Tarkistuslistoista ja niiden käyttämisestä tuli nopeasti yleinen käytäntö ilmailussa ja myöhemmin myös lakisääteinen vaatimus kaikille kaupallisille lentoyhtiöille. (Boyne, 2013.) Nykyisin tarkistuslistat ovat välttämättömiä lentoturvallisuudelle kaikkialla maailmassa ja niiden käyttö on myös laajentunut muille turvallisuuskriittisille aloille.

Vaikka USAAC päätti onnettomuuden jälkeen tilata Douglaksen B-18 Boloja alkuperäisessä kilpailutuksessa, USAAC kuitenkin tunnisti B-17 potentiaalinen pitkän matkan pommikoneena ja tilasi lopulta 13 Y1B-17 konetta jatkotestejä varten. Toisen maailmasodan aikana B-17:stä tuli yksi liittoutuneiden tärkeimmistä raskaista pommikoneista Euroopassa. Koneen kestävyys, luotettavuus ja kyky palata jopa merkittävästi vaurioituneena takaisin tukikohtaan tekivät siitä aikakautensa legendan ja sitä valmistettiin lopulta 12700 kappaletta. (Boyne, 2013.)

Tarkistuslistojen syntyyn vaikuttaneen onnettomuuskoneen tuotantoversion, Boeing B-17 Flying Fortress:in koulutusoppaan (U.S. Army 1944, 54-56) tarkistuslistaa (Cockpit Checklist) koskevassa kohdassa painotetaan tarkistuslistan käyttöä ja korostetaan sen ehdotonta merkitystä ja välttämättömyyttä lentoturvallisuuden näkökulmasta. Opas korostaa, että lentokoneen turvallinen käyttö edellyttää niin monta vaihetta eri tilanteissa, että kokeneinkaan koneen miehistö ei voi muistaa niitä tarkasti ja täydellisesti. Seuraavassa kuvassa esitetyssä B-17 tarkistuslistassa tulee huomioida, että siinä on selkeästi määrätty roolit (pilot, copilot) sen suorittamiselle.

RESTRICTED

APPROVED B-17F and G CHECKLIST

REVISED 3-1-44

PILOT'S DUTIES IN RED**COPILOT'S DUTIES IN BLACK****BEFORE STARTING**

1. Pilot's Preflight—**COMPLETE**
2. Form 1A—**CHECKED**
3. Controls and Seats—**CHECKED**
4. Fuel Transfer Valves & Switch—**OFF**
5. Intercoolers—Cold
6. Gyros—**UNCAGED**
7. Fuel Shut-off Switches—**OPEN**
8. Gear Switch—**NEUTRAL**
9. Cowl Flaps—Open Right—**OPEN LEFT**—Locked
10. Turbos—**OFF**
11. Idle cut-off—**CHECKED**
12. Throttles—**CLOSED**
13. High RPM—**CHECKED**
14. Autopilot—**OFF**
15. De-icers and Anti-icers, Wing and Prop—**OFF**
16. Cabin Heat—**OFF**
17. Generators—**OFF**

STARTING ENGINES

1. Fire Guard and Call Clear—**LEFT** Right
2. Master Switch—**ON**
3. Battery switches and inverters—**ON & CHECKED**
4. Parking Brakes—Hydraulic Check—**On-CHECKED**
5. Booster Pumps—Pressure—**ON & CHECKED**
6. Carburetor Filters—Open
7. Fuel Quantity—Gallons per tank
8. Start Engines: both magnetos on after one revolution
9. Flight Indicator & Vacuum Pressures **CHECKED**
10. Radio—On
11. Check Instruments—**CHECKED**
12. Crew Report
13. Radio Call & Altimeter—**SET**

ENGINE RUN-UP

1. Brakes—Locked
2. Trim Tabs—**SET**
3. Exercise Turbos and Props
4. Check Generators—**CHECKED & OFF**
5. Run up Engines

BEFORE TAKEOFF

1. Tailwheel—Locked
2. Gyro—Set
3. Generators—**ON**

AFTER TAKEOFF

1. Wheel—**PILOT'S SIGNAL**
2. Power Reduction
3. Cowl Flaps
4. Wheel Check—**OK right—OK LEFT**

BEFORE LANDING

1. Radio Call, Altimeter—**SET**
2. Crew Positions—**OK**
3. Autopilot—**OFF**
4. Booster Pumps—On
5. Mixture Controls—**AUTO-RICH**
6. Intercooler—Set
7. Carburetor Filters—Open
8. Wing De-icers—Off
9. Landing Gear
 - a. Visual—Down Right—**DOWN LEFT**
Tailwheel Down, Antenna in, Ball Turret Checked
 - b. Light—**OK**
 - c. Switch Off—Neutral
10. Hydraulic Pressure—**OK** Valve closed
11. RPM 2100—Set
12. Turbos—Set
13. Flaps $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{2}$ Down

FINAL APPROACH

14. Flaps—**PILOT'S SIGNAL**
15. RPM 2200—**PILOT'S SIGNAL**

RESTRICTED

55

Kuvio 9. B-17 tarkistuslistan ensimmäinen sivu vuodelta 1944. Tarkistuslista sisälsi kaksi sivua ja löytyi perämiehen viereisestä lokeroista. (U.S. Army 1944, 55). Kuvassa tulee huomioida, että vaikka se on leimattu "RESTRICTED", niin sen salaus on sittemmin purettu ja dokumentti on täysin julkisesti saatavilla.

6.2.3 Ohjaamon tarkistuslistat: periaatteet, suunnittelu ja käyttö

Degani & Wiener (1993, 14–15) esittelevät tarkistuslistat osana kompleksista järjestelmää, jonka toimintaan vaikuttavat monimutkaiset vuorovaikutukset ja järjestelmän sisäinen kytkeytyneisyys. He tuovat esiin, että tarkistuslista ja sen käyttöprosessi on alun perin lineaarinen ja väljästi kytkeytynyt, mutta käytännön toiminnassa prosessi voikin muuttua tiukaksi kytkeytyneeksi ja epälineaariseksi. Tämä muutos voi johtua listan käyttäjien toiminnasta, tarkistuslistan suunnittelusta tai organisaatiosta ja sen johtamiskulttuurista. Esimerkiksi tarkistuslistan käytön ajankohtaa tai paikkaa koskevat tilanteet, kuten tarkistuslistan suorittaminen kiireessä ja häiriöiden keskellä, voivat altistaa virheille. Lisäksi organisaation luomat erilaiset tuottavuuspaineet, kuten aikataulussa pysyminen, voivat johtaa siihen, että tarkistuslistan käyttöä ei suoriteta oikein. Degani & Wiener (1993, 14–15) korostavatkin, että tällainen tarkistuslistojen tiukka kytkeytyneisyys muiden samanaikaisten tärkeiden tehtävien kanssa kasvattaa inhimillisten virheiden ja järjestelmätason häiriöiden todennäköisyyttä.

Degani & Wiener (1993, 15–16) esittelivät tutkimuksensa pohjalta joukon suosituksia tarkistuslistojen suunnitteluun ja käyttöön ilmailussa, mutta heidän mukaansa niitä voidaan osittain soveltaa myös muilla teollisuudenaloilla. Kunnossapidon kontekstissa näistä voidaan nostaa esille seuraavat:

-Tarkistuslistan vastauskohdassa tulisi kuvata kohteen toivottu tila tai arvo, ei vain käyttää yleistä ilmaisu "tarkistettu" tai "suoritettu".

-Pitkät tarkistuslistat tulisi jakaa pienempiin tehtäväkohtaisiin listoihin tai lohkoihin, jotka liittyvät tiettyyn alijärjestelmään tai toimintoon.

-Tarkistuslistan kohteet tulisi suunnitella kohteiden etäisyyksien ja ympäristön perusteella ja suorittaa loogisessa järjestyksessä.

-Tarkistuslistat tulisi suunnitella niin, ettei niiden suorittaminen ole tiukasti sidoksissa muihin tehtäviin, suunnittelussa tulisi pyrkiä mahdollistamaan joustavuus, jos tarkistuslistan läpi käyminen ei jostain syystä pysy tahdissa muiden tehtävien kanssa.

Myös Pearl & Drury (1996, 127) toteavat, että vaikka lentokoneen miehistön käyttämät tarkistuslistat poikkeavat sisällöltään kunnossapidon työohjeista, niin niiden tavoitteet ja useat suunnitteluperiaatteet ovat yhteneviä, esimerkkeinä vaikka ihmisen muistin tukeminen ja tehtävien suoritusjärjestyksen ohjaaminen.

Vuoden 1935 Boeing Model 299 onnettomuus ja sen seurauksena syntyneet tarkistuslistat ja niiden käyttöönotto osoittavat, miten järjestelmällinen työvaiheiden ohjaus voi tukea ihmisen toimintaa ja vähentää virheitä. Tämä kronologisen kehityspolun alku toimii taustana tutkimuksen seuraaville vaiheille, joissa käsitellään kunnossapidon työohjeiden kehitystä, sisältöä ja käytettävyyttä FAA:n Human Factors in Aviation Maintenance raporttisarjan pohjalta.

6.3 PHASE 1 1991 – Tehtäväkuvaus ja ihmisen vs. järjestelmän muuttaminen

Shepherd ym (1991, 6–8) käyvät PHASE 1 raportissa läpi lentokoneiden vauriotarkastustyötä, joka suoritetaan joko näön avulla (Visual Inspection, VI) tai ainetta rikkomattomalla tarkastuksella (Non-Destructive Inspection, NDI). Heidän tavoitteensa oli selvittää, miten tarkastustyön vaatimukset saattavat ylittää työn suorittajien inhimilliset kyvyt ja millaisia virheherkkiä kohtia työssä esiintyy. Tutkijat jakoivat tarkastusprosessin tehtävät tehtäväkuvauksen avulla alatehtäviin tavoitteena eritellä työvaiheet riittävällä tarkkuudella jatkoanalyysia varten. Virhealttiit kohdat löytyivät niistä kohdista, joissa tehtävän kognitiiviset ja fyysiset vaiheet ylittävät tarkastajien kyvyt. Parannustoimet luokiteltiin kahteen eri vaihtoehtoon: käyttäjän muuttamiseen järjestelmään sopivaksi tai järjestelmän muuttamiseen käyttäjälle sopivaksi.

TASK DESCRIPTION	VISUAL EXAMPLE	NDI EXAMPLE
1. Initiate	Get workcard, read and understand area to be covered.	Get workcard and eddy current equipment, calibrate.
2. Access	Locate area on aircraft, get into correct position.	Locate area on aircraft, position self and equipment.
3. Search	Move eyes across area systematically. Stop if any indication.	Move probe over each rivet head. Stop if any indication.
4. Decision Making	Examine indication against remembered standards, e.g. for dishing or corrosion.	Re-probe while closely watching eddy current trace.
5. Respond	Mark defect, write up repair sheet or if no defect, return to search.	Mark defect, write up repair sheet, or if no defect, return to search.
6. Repair	Drill out and replace rivet.	Drill out rivet, NDT on rivet hole, drill out for oversize rivet.
7. Buyback Inspect	Visually inspect marked area.	Visually inspect marked area.

Kuvio 10. Yleinen tehtäväkuvaus (Shepherd ym. 1991, 7)

	STRATEGY	
	Changing Inspector	Changing System
Initiate	Training in NDI Calibration (Procedures Training)	Redesign of Job Cards Calibration of NDI Equipment Feedforward of Expected Flaws
Access	Training in Area Location (Knowledge and Recognition Training)	Better Support Stands Better Area Location System Location for NDI Equipment
Search	Training in Visual Search (cueing, progressive-part)	Task Lighting Optical Aids Improved NDI Templates
Decison	Decison Training(cueing Feedback, Understanding of Standards	Standards at the Work Point Pattern Recognition Job Aids Improved Feedback to Inspection
Action	Training Writing Skills	Improved Fault Marking Hands-free Fault Recording

Kuvio 11. Työntekijän vs. järjestelmän muuttaminen (Shepherd ym 1991,8, muokattu)

PHASE 1 raportin perusteella nousee esiin työohjeiden kannalta kaksi keskeistä tekijää: tehtävän purkaminen alatehtäviin tehtäväkuvauksen avulla ja sen pohjalta tehtävä tarkempi tehtävän analysointi, sekä ohjeiden merkitys keinona muuttaa järjestelmää vastaamaan ihmisen toimintaa.

6.4 PHASE 3 1993 – Työohjeiden suunnittelu

FAA (1993, 113–132) tuo esiin erittäin keskeisen näkökulman kunnossapidon laadunhallintaan: työtä ohjaava **dokumentaatio ei ole pelkkä muodollisuus, vaan sillä on suora vaikutus työn laatuun ja turvallisuuteen**. FAA:n PHASE 3 raportin kappale 7 Design of Work Control Cards (FAA, 113–132) käsittelee lentokoneiden tarkastustyössä käytettävien työohjeiden suunnittelua inhimillisten tekijöiden näkökulmasta. Raportti jakaa työohjeiden suunnitteluperusteet seuraavasti:

1 – **Tiedon luettavuus**: Tekstin ja kirjaimien asettelu vaikuttaa suoraan ohjeen luettavuuteen. Ohjeen kappalejako ja otsikoiden sijoittelu jäsentää ohjeen sisältöä ja lihavoinnilla voidaan kiinnittää huomiota ohjeen olennaisiin kohtiin. Selkeät, koristelemattomat fontit parantavat luettavuutta ja vähentävät häiriöitä. Pelkkien isojen kirjainten käyttö heikentää luettavuutta.

2 – **Tiedon sisältö**: Ohjeen sisältö ei saa olla pelkkä teknisen ohjeen sisällön kopiointi työohjeeksi, vaan sen tulee tukea käyttäjän toimintaa. Puutteellinen tai liian kuormittava ohje voi ohjata käyttäjää tekemään omia johtopäätöksiä työn sisällöstä. Tiedon tulee olla täsmällistä, ajantasaista ja johdonmukaisesti esitettyä. Graafinen esitystapa voi tukea sanallista tietoa ja vähentää kognitiivista kuormaa.

3 - **Tiedon jäsentely**: Tiedon rakenteen tulee olla selkeä ja johdonmukainen. Eri tietotyypit, kuten varoitukset, muistutukset ja toimenpiteet tulee esittää vakiintuneessa järjestyksessä. Jokainen ohjeellinen vaihe tulee rajata lyhyeksi kokonaisuudeksi, jotta se vastaa ihmisen muistinkäsittelyn rajoja. Tieto jaetaan ohjeisiin, viittauksiin, varoituksiin, huomautuksiin ja muistutukseen. Tietotyypit esitetään priorisoidussa järjestyksessä: esim. varoitus ennen muistutusta. Yksittäinen toimenpidevaihe sisältää enintään 2–3 toisiinsa liittyvää toimintoa. Ohjeen tehtävää kuvaava lauseke koostuu kolmesta osasta: toimintaverbi, kohde, toiminnan tarkenne. Toimintaverbit valitaan ennalta määritellystä listasta, jossa ei ole synonyymejä. Kohteet voidaan ryhmitellä alaryhmiin virheiden ehkäisemiseksi.

4 – **Fyysinen käsiteltävyys:** Vaikka työohje täyttäisi kaikki muut suunnitteluperiaatteet, niin siitä ei ole hyötyä, jos se soveltuu fyysisesti tehtävään. Ohjeen liian iso tai pieni koko tekee ohjeesta vaikeasti käsiteltävän. Ympäristötekijät kuten sade tai tuuli saattavat vaurioittaa ohjetta. Työn suorittamispaikan puutteellinen valaistus voi vaikuttaa ohjeen luettavuuteen.

Alkuperäistä FAA:n raportin osaa (FAA 1993, 113–132) tehneet tutkijat Patel, Prabhu & Drury nostavat myöhemmässä raporttia koskevassa julkaisussaan (Patel ym, 1994) esiin mahdollisuuden työohjeen kaksitasoisuuteen. Aloitteleva työntekijä saattaa tarvita tarkkaa ja yksityiskohtaista tietoa jokaisesta työvaiheesta, kun taas kokeneelle työntekijälle riittää pelkistetty tieto. Tämän vuoksi ohjeiden tulisi sisältää useita tiedon tasoja: ylimmällä tasolla esitetään pääkohdat esimerkiksi tarkistuslistana, ja alemmilla tasoilla tarjotaan tarkempia selityksiä ja taustatietoa. Työohjeen monitasoisuus ei palvele ainoastaan työohjeen käyttäjää vaan tuo etuja myös sen tekijälle, koska tiedon järjestäminen ja sijoittelu ohjeissa helpottuvat ja vaativat vähemmän suunnittelua.

Yhteenvedona PHASE 3 raportin pohjalta voidaan todeta, että FAA:n (1993, 113–132) esittämä lähestymistapa työohjeiden suunnitteluun korostaa, ettei ohje ole pelkkä muodollinen dokumentti, vaan keskeinen työn laadun ja turvallisuuden varmistamisen väline. Ohjeiden suunnittelussa tulee huomioida tiedon esittämisen neljä tekijää: luettavuus, sisältö, jäsentely, sekä fyysinen käytettävyys. Nämä tekijät pohjautuvat ihmisen toiminnan rajoitteisiin, sekä siihen, että kuinka ohjeet voivat joko tukea tai haitata käyttäjän toimintaa.

6.5 PHASE 5 1996 – Työkorttien parantaminen

Pearl & Drury (1996, 143–159) esittävät raportin luvun 8 alussa, että käytössä olevat työkortit eivät tukenneet mekaanikkojen ja tarkastajien työtä parhaalla mahdollisella tavalla, koska niitä ei käytetä järjestelmällisesti tarkastusten aikana työn toistuvuuden ja rutiinien takia. Tämän vuoksi he siirsivät tutkimusprojektin painopisteen korttien käytön ja käytön esteiden tutkimiseen sekä siihen, että miten niiden suunnittelua voidaan parantaa. Raportista voidaan nostaa kiteytetysti esille seuraavat asiat:

-Yksilölliset työtavat vähentävät standardin mukaisen työn merkitystä: työohjetta pidetään hyödyllisenä, mutta sitä ei käytetä jatkuvasti työn aikana ja erityisesti kokeneet työntekijät luottavat enemmän omaan muistiin ja kokemukseen. Mekaanikot suorittavat työn omilla yksilöllisillä tavoilla.

-Työn sisällön toistuvuus vähentää työohjeen tarvetta: työn tuoma rutiini, esim. 15. suoritusta kuukaudessa, johtaa siihen, että työ muistetaan ulkoa, eikä ohjetta koeta tarpeelliseksi.

-Fyysiset ja ympäristöön liittyvät esteet: työ suoritetaan liikkumalla koko lentokoneen alueella myös ahtaissa paikoissa, mikä tekee A4 kokoisesta työohjeesta vaikeasti käytettävän, lisäksi sääolosuhteet ja valaistus heikentää työohjeen käytettävyyttä.

-Luonnollinen suoritusjärjestys eroaa ohjeen järjestyksestä: työ suoritetaan käytännössä järkevästi alueittain, kun taas työohjeet ohjaavat tehtäviä toimintokohtaisesti, tämä johtaa ristiriitaan työnkulun ja ohjeen välillä.

-Muistinvarainen työ altistaa virheille: työohjeen käyttämättä jättäminen lisää riskiä, että jotain jää tekemättä, etenkin silloin kun työ keskeytyy. Koska työ kuitataan tehdyksi usein vasta työn lopussa eikä vaihettain työn edetessä, niin tarkka muisti korostuu, mikä ei ole luotettavaa.

Yhteenvedona voidaan todeta, että Pearl ja Drury (1996, 143–159) nostavat esiin merkittävän ristiriidan työohjeiden suunnittelun ja todellisen työn toteuttamistavan välillä. Työkortit eivät sellaisenaan vastaa mekaanikkojen toimintalogiikkaa, työympäristön vaatimuksia tai kokeneiden käyttäjien tarpeita. Tutkimus osoittaa, että rutiininomaisissa tehtävissä mekaanikot nojautuvat muistiin, hahmottamiseen ja kokemukseen pikemminkin kuin järjestelmälliseen ohjeen seuraamiseen. Työkorttien käyttöä rajoittavat fyysiset tekijät, kuten sää ja valaistus sekä myös ohjeiden epäluonnollinen järjestys, joka ei tue työn todellista suoritusjärjestystä. Tällainen tilanne altistaa inhimillisille virheille, kun työohjeista puuttuu tuki työntekijän muistille ja jatkuvalla havainnoinnille.

PHASE 5 -raportin tärkein johtopäätös onkin, että työohjekorttien tulee olla käyttöympäristöön ja mekaanikkojen todellisiin työskentelytapoihin mukautuvia välineitä, siis ei ainoastaan tehtävälueteloita, vaan myös käytännön työtä tukevia, virheherkkyyttä vähentäviä ja ihmisen toimintaa ohjaavia työvälineitä.

6.6 2012 - Myöhemmät havainnot ja teknisen dokumentaation merkitys

FAA järjesti vuonna 2012 työpajan, jossa vielä vuonna 2012 tunnistettiin tekninen dokumentaatio ilmailun kunnossapidon suurimmaksi inhimillisten tekijöiden haasteeksi. Työpajaan osallistui 28

asiantuntijaa eri toimialoilta, ja sen tuloksena listattiin kymmenen keskeistä toimenpidettä ongelmien ratkaisemiseksi. Näitä ovat muun muassa taloudellisten vaikutusten arviointi, laadun arvioinnin kehittäminen, dokumenttien yhtenäistäminen ja niiden käytettävyyden parantaminen. Työpaja korosti alan yhteistä vastuuta ja kulttuurinmuutoksen tarvetta: dokumentaatio-ongelmat ovat laajoja ja turvallisuusriskien ratkaiseminen vaatii johdonmukaista yhteistyötä, investointeja ja sitoutumista. (Avers ym, 2012.)

Yksi noista työpajan 28 osallistujista oli tohtori Colin Drury, joka on vaikuttanut merkittävästi ilmailun tarkastus- ja kunnossapitoprosessien kehittämiseen. State University of New York at Buffalon emeritusprofessori oli johtava tutkija yli 20 vuoden ajan inhimillisten tekijöiden soveltamisessa ilmailun kunnossapidossa (Avers ym, 2012). Samainen tohtori Drury oli myös mukana koko edellisissä PHASE raporteissa esitetystä tutkimustyöstä nimenomaan työohjeita koskevien osioiden osalta.

Työpajassa (Avers ym, 2012) Drury esitti, että teknisen dokumentaation suunnittelun päätavoitteena tulee olla virheetön suoritus. Hän korosti, että virheet voivat syntyä neljässä vaiheessa: väärän dokumentin valinnassa, sen lukematta jättämisessä, sisällön väärinymmärryksessä tai työn virheellisessä suorittamisessa. Työpajassa Drury esitti, että **työohjeiden suunnittelussa tulee keskittyä työtä suorittavan mekaanikon, eikä suunnitteluinsinöörin tai auditoijan tarpeisiin.** Druryn (Avers ym, 2012) mukaan mekaanikon tulee virheiden välttämiseksi:

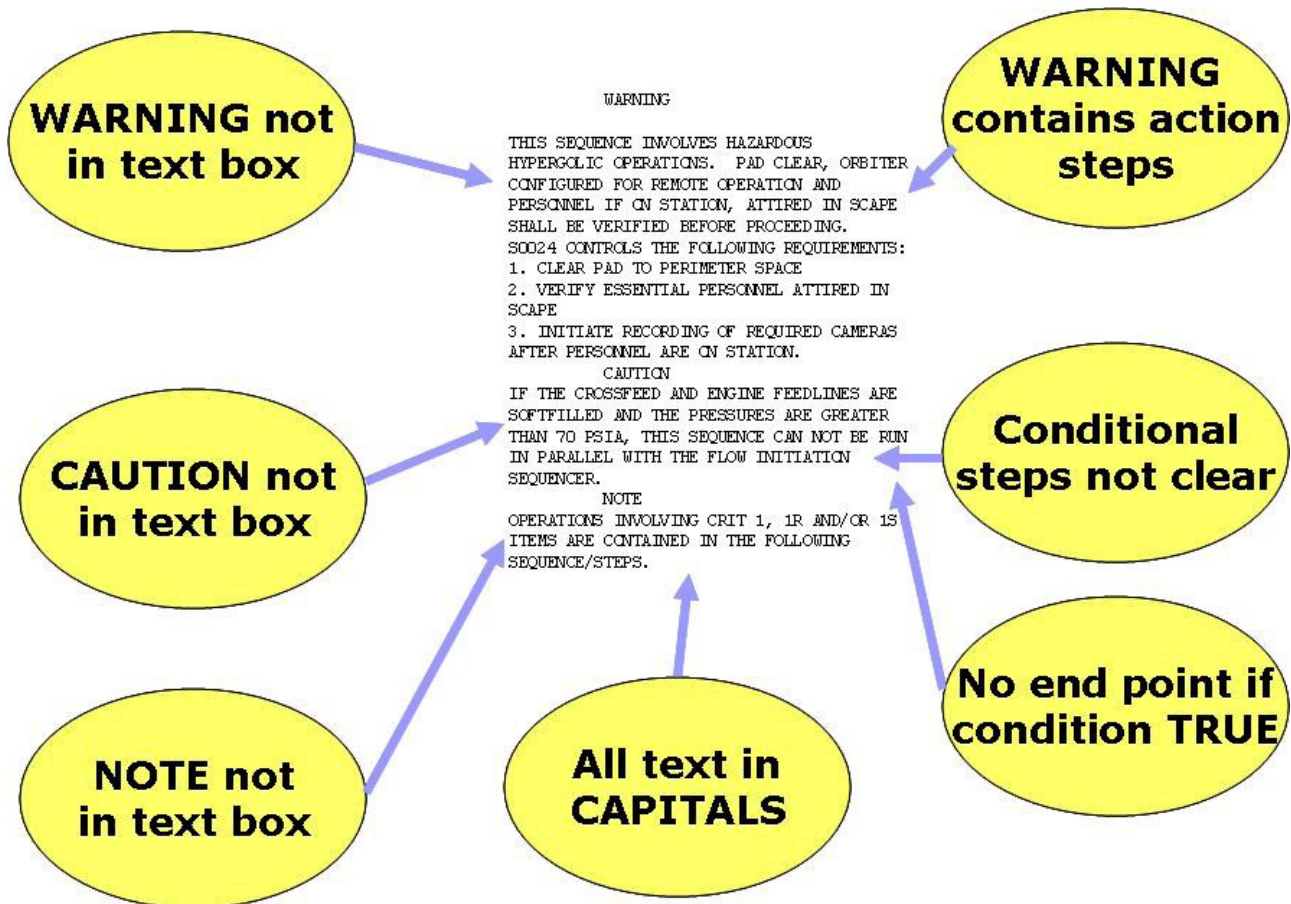
-Löytää oikea dokumentaatio

-Lueka dokumentaatio

-Ymmärtää dokumentaatio

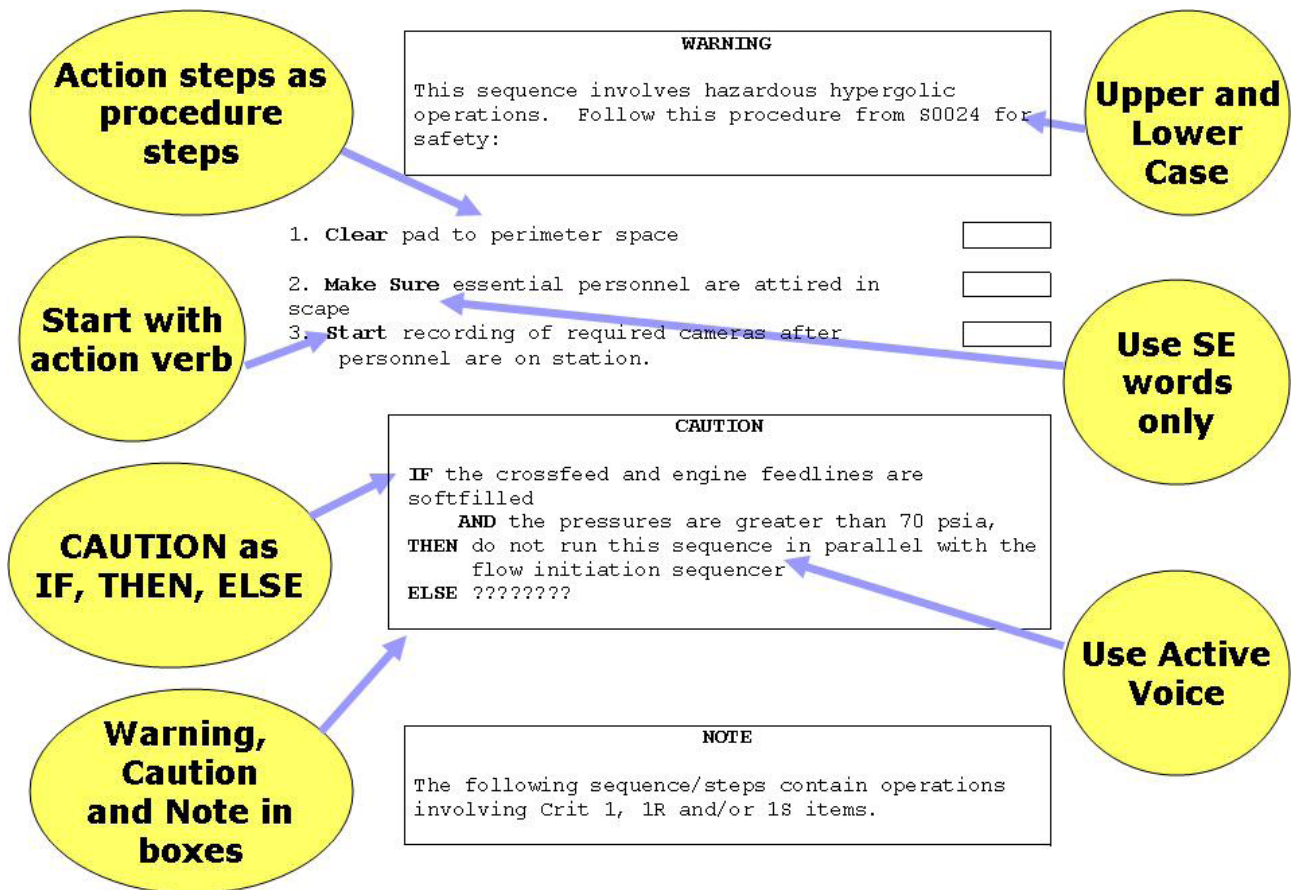
-Suorittaa dokumentaatioissa annetut työvaiheet oikein

Työpajassa Drury esitti kuvan työohjeiden kehityksessä. Tässä kuva on jaettu kahteen osaan analyysia ja ulkoasua varten. Ensimmäisenä esitellään vanha työohje ja sen problematiikka:



Kuvio 12. Vanha työohje (Avers ym, 2012, muokattu)

Kuva vanhasta työohjeesta havainnollistaa vanhan työohjeen suunnitteluvirheitä. Varoitukset, huomautukset ja muistutukset eivät erotu selkeästi, toimintavaiheiden esitystapa on epäselvä ja teksti on kirjoitettu isoilla kirjaimilla. Nämä heikentävät ohjeen luettavuutta, lisäävät väärintulkinnan riskiä ja vaikeuttavat työtehtävän turvallista ja virheetöntä suorittamista.



Kuvio 13. Uusi työhohje (Avers ym, 2012, muokattu)

Uusi työhohje esittää esimerkin hyvästä työhohjeen suunnittelusta ja nostaa esiin seuraavat kohdat:

-Varoitukset (warnings), huomautukset (cautions) ja muistutukset (note) ovat omissa erillisissä tekstilaatikoissa ja ne erottuvat selkeästi visuaalisesti.

-Teksti on paljon luettavampaa käyttämällä isoja ja pieniä kirjaimia.

-Vaiheet ovat selkeitä ja alkavat komentoverbillä ("Clear", "Make Sure", "Start"). Tämä parantaa ohjeen selkeyttä.

-Huomautus esitetään selkeästi "JOS-NIIN-MUUTOIN" rakenteella.

FAA:n vuoden 2012 työpaja (Avers ym, 2012) ja Colin Drury'n siellä esittämät näkemykset tiivistetynä esittävät teknisen dokumentaation roolin osana keskeistä turvallisuuden ja laadun tekijänä

ilmailun kunnossapidossa. Virheet dokumentaation käytössä ja ymmärtämisessä johtuvat usein ohjeiden suunnitteluvirheistä ja siitä, että ohjeet eivät vastaa mekaanikkojen todellisia tarpeita tai työskentelyolosuhteita. Vanhojen ohjeiden ongelmat liittyvät erityisesti huonoon visuaaliseen erotteluun, epäselviin toimintavaiheisiin ja heikkoon luettavuuteen. Hyvin suunnitelluissa työohjeissa varoitukset ja muistutukset erotellaan selkeästi, teksti on helposti luettavaa ja työvaiheet ovat loogisesti jäsennettyjä. Dokumentaation parantaminen edellyttää johdonmukaista, käyttäjälähtöistä suunnittelua, sekä kulttuurinmuutosta, jossa tunnustetaan teknisen dokumentaation merkitys turvallisuuden varmistamisessa ja virheiden ehkäisyssä.

7 Esitys perusteiksi Millog Oy:n huollon työohjeille

Seuraavaksi esitellään tutkimustulokset, jotka muodostavat perusteet Millog Oy:n kunnossapidon työohjeiden kehittämiseksi. Tuloksiin päädyttiin CASE-tapauksesta esiin nousseiden tulosten pohjalta ja osittain teoreettisen viitekehyksen kautta. Teoreettiseen viitekehykseen sisältyi turvallisuuskriittisen toimintaympäristön erityispiirteet, inhimilliset tekijät, laatu ja erityisesti näkökulma ihmisestä osana järjestelmää. LEAN-ajattelun Training Within Industry ja siihen liittyvä standardoitu työ (SWI) luo hyvää pohjaa työohjeiden laadinnalle, mutta on kuitenkin lähtökohtaisesti tarkoitettu valmistavalle teollisuudelle, eikä sellaisenaan ole suoraan sovellettavissa kompleksisessa ympäristössä tapahtuvaan kunnossapitotyöhön. Lisäksi TWI ja SWI joiltain osin määrittelee itsensä ”kurin, järjestyksen ja hallinnan” tuojina työsuorituksen tekemiseen, mikä ei sinänsä palvele työyhteisön kestävästä kehityksestä, eikä huomio yksilöä tai organisaation pehmeitä arvoja. Tärkeimpinä SWI:n näkökulmina esiin nousee työntekijän rooli oman työnsä parhaimpana asiantuntijana, sekä sen myötä esille nouseva työntekijän rooli ja osallistaminen työohjeiden suunnittelussa.

Työohjeen loppukäyttäjää, työtä suorittavaa mekaanikkoa, ajatellen FAA:n ihmistekijöiden (tekijän yksinkertaistus) kontekstissa suoritettujen tutkimukset luovat laajimman työntekijän roolin huomioon otettavien tuloksille ja tuovat esiin tärkeimmät suunnitteluperusteet. Kaikki FAA:n tutkimuksista esiin nousseet asiat eivät ole kuitenkaan sellaisenaan ole suoraan hyödynnettävissä Millogin toiminnassa, vaan tutkimustulos on kompromissi valmistavan teollisuuden tehokkuuden tavoittelun ja toisaalta äärimmäisen tarkkuuden kunnossapitoympäristöjen ja virheettömyyden välisestä vuorovaikutuksesta.

Millogin turvallisuuskriittinen toimintaympäristö asettaa työohjeen sisällölle enemmän tavoitteita, kuin tuottavassa teollisuudessa keskimäärin on. Keskeistä tässä ympäristössä on, että työohjeiden avulla uhkat ja riskit voidaan hallita. Tämä tarkoittaa, että työohjeiden tulee olla selkeitä ja tarkasti suunniteltuja, jotta työ voidaan suorittaa ilman poikkeamia tai virheitä. Teperin mukaan (2023, 23) turvallisuus toteutuu silloin kun asiat tapahtuvat suunnitellusti ja odotetusti. Tämä tarkoittaa sitä, että työohjeet tulee laatia siten, että työn suoritus on mahdollisimman ennakoitavaa: ohjeet pyrkivät vähentämään epävarmuutta ja mahdollistavat työn yhdenmukaisen ja ennakoivan toteuttamisen.

Vuonna 1935 tapahtunut B299 onnettomuus oli merkittävä käännekohta ilmailun kunnossapitotyön ohjeiden historiassa. Tämän onnettomuuden seurauksena ilmailualalla ymmärrettiin, että edes kokeneetkaan ammattilaiset eivät voi luottaa pelkästään muistiin monimutkaisten ja kriittisten tehtävien suorittamisessa. Tästä syntyi tarve tehdä kehittää tarkistuslistoja ja niiden pohjalta myöhemmin myös kunnossapidon työohjeita, joiden päätarkoitus on tukea työn suorittajaa työskentelyssä sekä varmistaa virheettömään lopputulokseen pääseminen.

Työohjeen ensisijainen tarkoitus on toimia yhtenä työkaluna, joka tukee varsinaista työn tekemistä. Työohjeen tarkoitus on varmistaa, että työ suoritetaan suunnitellusti ja laadukkaasti riippumatta työn suorittajan kokemustasosta, työn suoritusympäristöstä tai vaikkapa inhimillisestä tekijästä kuten väsymyksestä tai ulkopuolisesta häiriöstä. Työohjeen avulla voidaan vähentää inhimillisten virheiden riskiä, yhdenmukaistaa työn suoritustapaa ja tukea työn suorittajan muistia erityisesti monivaiheisissa ja monimutkaisissa tehtävissä. Työohjeiden ei tule missään nimessä olla pelkkiä dokumentteja, vaan toimia osana järjestelmää, joka tukee koko järjestelmän toimintavarmuutta.

Millog Oy:ssä organisaation tulee ymmärtää tekninen dokumentaatio osana toiminnan turvallisuutta, laatua ja tehokkuutta. Millogin toimintaympäristössä pätevät pääsääntöisesti samat vaatimukset ja inhimilliset tekijät kuin ilmailualalla. Mikäli työohjeet ovat vaikeaselkoisia, eivät vastaa todellisia työtilanteita tai jäävät muuten pakin sisälle työn suorittamisen aikana, niin seurauksena voi olla työvirheitä, viivästymisiä ja laadun heikkenemistä. Tämän takia seuraavissa alaluvuissa esitellään konkreettisia toimia työohjeiden kehittämiseksi.

7.1.1 Ohjeiden sisältö ja ajantasaisuus

Työohjeen sisällön tulee palvella suoraan sen käyttäjän tarpeita. FAA:n tutkimus (FAA, 1993) korostaa, että työohje ei saa olla pelkkä teknisen manuaalin kopio, vaan sen on tuettava työn tekemistä. Liian ylimalkainen tai toisaalta ylikuormittava ohjeistus saattaa johtaa mekaanikkoja tekemään omia päätelmiä työn suorittamisesta, mikä lisää riskiä virheiden syntymiselle. Lisäksi ohjeiden tulee olla ajantasaisia, koska vanhentuneet ja epätasälliset tiedot murentavat ohjeen käyttäjän luottamusta ohjeisiin.

Ohjeet tulee kirjoittaa selkeällä kielellä kaikki tarvittavat termit huomioiden, mutta siten, että vältetään turhaa insinööreille ominaista teknistä jargonia. Sisällön suunnittelussa tulee hyödyntää mekaanikkojen asiantuntemusta ja ottaa heidät mukaan myös työohjeiden suunnitteluun, koska mekaanikot ovat oman työnsä parhaita asiantuntijoita. Tämä mahdollistaa sen, että ohjeet vastaavat niiden käyttäjien todellisia tarpeita.

7.1.2 Ohjeiden looginen rakenne

Looginen rakenne auttaa työntekijää löytämään tarvittavan tiedon nopeasti ja vähentää samalla virheellisen toiminnan riskiä. FAA:n raporttien suositusten mukaan erilaiset tietotyypit tulee aina esittää samassa järjestyksessä. Tärkeät huomiot (esim. turvallisuuden vaikuttavat varoitukset) on erotettava selkeästi muusta tekstistä, jotta ne eivät huku ohjeen muun sisällön sekaan. Työohjeen rakenne vaikuttaa suoraan sen käytettävyyteen, jonka takia jokainen työvaihe tulee rajata selkeäksi kokonaisuudeksi, jonka ihminen voi muistillaan hahmottaa.

Työohjeissa tulee olla selkeät osiot, kuten tarvittavat välineet, turvallisuusvaroitukset, työvaiheet tai mittausarvot. Työohjeiden työvaiheissa tulee noudattaa yhdenmukaista muotoa, jossa yksi vaihe kuvataan yhdellä rivillä tai kappaleella ja pitkät vaiheet pilkotaan alakohdiksi. Jokainen työvaihe tulee aloittaa komentoverbillä ja jatkaa selkeästi tarkentavalla selityksellä, jotta ohjeiden muoto on ulospäin yhtenevä.

7.1.3 Ohjeiden sovittaminen tehtäväkulkuun

Työn sujuvuus paranee silloin, kun työohjeistus mukaillee käytännön työsuoritusta. Pearl & Drury (1996) tutkimuksessa ilmeni, että mekaanikot tekevät työn alueittain tai ylipäätään siinä järjestyksessä, mikä on mekaanikon oman työsuorituksen kannalta kaikkien järkevintä, kun taas työohje oli jäsennetty täysin eri tavalla. Tämä ero johti tilanteisiin, jossa ohjetta ei seurattu siten kuin siinä oli esitetty, koska se oli ristiriidassa käytännön työn kanssa.

Työohjeiden järjestyksen tuleekin huomioida työn todellinen suoritusjärjestys ja varmistaa, että ohjeet vastaavat mahdollisuuksien mukaan työn luonnollista etenemistä. Tämä voi tarkoittaa, vaikka sitä, että jos työ todellisuudessa tehdään, vaikka yksi osa-alue kuten ”alusta” kerrallaan, niin myös ohje tulee suunnitella sen mukaisesti, eikä ohjeella pakoteta hyppimään kohteesta toiseen edestakaisin. Tarvittaessa ohjeeseen voidaan lisätä joustavuutta ja kehittää ohjetta käyttäjälähtöisemmäksi. Millog Oy:ssä tämän voi toteuttaa siten, että kerätään palautetta asentajilta siitä, että miten he yleensä suorittavat työn.

Seuraavana esitetään kaksitasoinen ohje ohjeiden tekemiselle, siten että vasen sarake kuvaa ylätasoa ja oikea purkaa karkeasti sen tarkemmaksi.

Taulukko 4. Kaksitasoinen ohje ohjeiden tekemiselle

Taso 1 Tehtävä	Taso 2 tarkennus (yksityiskohtainen ohjeistus)
1. Tunnista työn sisältö	Selvitä OEM-ohjeet tai järjestelmävastuullisen tuottamat suunnitteluperusteet työn sisällöstä
2. Kirjaa vaiheet toimenpideluetteloksi	Kokoa ohjeet ylätasoa luetteloksi
3. Järjestä ohje suoritusjärjestykseen	Varmista, että vaiheet seuraavat työn todellista kulua. Vältä hyppelyä tai epäjohton mukaisuuksia.
4. Laadi alatason tarkka ohje tarvittaessa	Tarkenna monimutkaiset vaiheet: työkalut, varoitukset, momentit, työasennot jne.

5. Suunnittele ohje käyttöympäristön mukaan	Huomioi käyttöolosuhteet: valaistus, tila, sää, lämpötila. Valitse esitysmuoto tarpeen mukaan
6. Käy ohje läpi työn suorittajan kanssa	Pyydä palautetta ja varmista, että työn suorittaja ymmärtää ohjeen. Tee tarvittavat korjaukset.
7. Testaa ohje käytännössä ja kerää palaute	Käytä ohjetta oikeassa työssä tai simulaatiossa. Kerää suoraa palautetta käytettävyyden ja ymmärrettävyyden parantamiseksi.
8. Muokkaa ohjetta saadun palautteen pohjalta	Tee korjaukset ja täydennykset palautteen pohjalta. Tallenna muutoshistoria.
9. Ylläpidä ohjetta jatkuvasti (auditointi, palaute, kehitys)	Suunnittele prosessi ohjeiden säännölliseen tarkistukseen. Mahdollista palautteenanto ja kehitä ohjeita jatkuvasti.

7.2 Millog Oy:n ohjeistus

Millog Oy:ssä käytetään tällä hetkellä hyvin erityyppisiä ja tasoisia huoltotyötä koskevia työohjeita. Jotkut niistä ovat suoraan OEM-dokumenttien teknisiä sisältöjä, joissa pahimmillaan käsitellään yhdessä ohjeessa useita eri huoltoja. Ohjeet voivat olla myös suoraan suomeksi käännettyjä ohjeita, joissa viitataan vaikkapa laitteen toimittajan alkuperämaan paloviranomaisen määräykseen. Syy ei ole kuitenkaan ohjeesta vastaavan kunnossapitovastuullisen, joka tuottaa dokumentaation vaan se, että huollon työohjeiden tärkeyttä ei ole täysin tunnistettu organisaation kaikilla tasoilla ja niiden tuottamiseen ei ole annettu kunnollisia perusteita, eikä tämän myötä myöskään tarvittavia resursseja.

ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, 18–19) asettaa kunnossapidon dokumenteille minimivaatimukset, jonka mukaan työohjeen tulisi olla yksilöitävissä ja jäljitettävissä. Standardin mukaan Millog Oy:ssä työohjeen tulisi siis sisältää vähintään seuraavat tiedot: otsikko, ID-numero, versiointi, luonti ja hyväksyntä. Koska työohjetta käytetään tällä hetkellä myös pöytäkirjana, niin siinä tulee olla yksilöintitiedot, joista selviää työnnumero, työn suorituspäivä ja työn suorittaja.

Millog Oy:ssä on lähivuosia kehitetty joitain työohjeita, joiden tarkoitus on täyttää kattavasti kaikki työohjeille tarvittava sisältö ja josta mitään ei jää puuttumaan. Tällaisessa työohjeesta löytyy kaikki mahdollinen käytettävissä ja saatavilla oleva tieto. Mikäli työtä ohjaava dokumentaatio tulee kattaa vain yhdellä dokumentilla, niin tämän tyyppinen ohje tekee sen.

Tarkka ja kaikenkattava ohjeistus on hyödyksi uudelle työntekijälle tai silloin kun uutta huoltotyötä tehdään ensimmäistä kertaa. Toisaalta suuri yksityiskohtien määrä voi hämmentää uutta työntekijää, jos ohjeesta ei pysty tunnistamaan työn kriittisiä vaiheita ja tällöin tärkeät asiat voivat hukkuu vähemmän tärkeiden joukkoon. Kokeneelle työntekijälle kattavan työohjeen käyttö voi tuntua raskealta, turhauttavalta ja aikaa vievältä, koska kokeneet työntekijät eivät tarvitse yleensä yksityiskohtaisia ohjeita. Liian runsas tiedon määrä voi heikentää työsuoritusta ja altistaa käyttämään ohjetta väärin, oikomaan ja soveltamaan, tai unohtamaan sen kokonaan. Tulostettuna työohjeena usean sivun mittainen laaja työohje voi olla hankala käyttää työn suorituksessa niissä ympäristöissä missä työ todellisuudessa tehdään.

Inhimillisten tekijöiden näkökulmasta laaja ja perusteellinen työohje on kokonaisuutena liian monimutkainen ja yksityiskohtainen, jotta se palvelee optimaalisesti sekä uusia että kokeneita työntekijöitä samalla dokumentilla. Patelin ym. (Patel ym, 1994) esittämä mahdollisuus ohjeiden kaksitasoisuudelle tuo esille mahdollisuuden työohjeille, joissa ylätaso palvelee kokenutta työntekijää ja alataso tarjoaa tarvittavia yksityiskohtia, jos kyseessä on uusi työ tai silloin kun tekijä suorittaa työn ensimmäisiä kertoja.

Ratkaisuna onkin olla kolme eri dokumenttia yhden huoltotyön suorittamisesta:

Huollon työohje: Kattaa kaikki mahdolliset yksityiskohdat selvästi ryhmiteltynä, soveltuu uuden työntekijän perehdyttämiseen ja vanhojen työntekijöiden työsuorituksen kertaamisen silloin kun työn sisältö muuttuu. Työohjeet suunnitellaan tällä tasolla, eli huomioidaan kaikki mahdollinen ja kuvataan työn sisältö riittävällä tarkkuudella. Lisäksi tällä tasolla työohjeelle kirjataan tarvittavat varaosat ja erikoistyökalut. Uudet työt toteutetaan ensimmäistä kertaa tällä tasolla. Työn ylläpito suoritetaan myös tällä tasolla.

Huollon toimenpideluettelo: On tyyliiltään pelkistetty tarkistuslistatyypinen dokumentti, joka sisältää päätyövaiheet, mittaustulokset ja toimii mekaanikon työsuorituksen tarkistuslistana, johon hän kuittaa tehdyt työt. On helposti luettavissa ja tulostettavissa työn todellisiin suoritustilanteisiin. Tukee kokeneiden työntekijöiden toimintaa vähentämällä kognitiivista kuormitusta ja nopeuttaa työvaiheiden tehokasta suorittamista.

Huoltopöytäkirja: Dokumentti, joka syntyy työn suorittamisesta. Perustuu tunnistetietoihin, toimenpideluettelon tehtävien suorittamisen kuittaamiseen ja esimerkiksi mittausarvojen kirjaamiseen.

Tällainen kolmitasoinen ratkaisu parantaa työn laatua, vähentää inhimillisten virheiden mahdollisuutta ja tukee sekä kokeneita, että uusia työntekijöitä. Niin pitkään kuin käytetään pelkästään tulostettuja työohjeita, niin yksi tulostettu työohje ei palvele kaikkia käyttäjiä ja käytön tarkoitusta.

Tuleva toiminnanohjausjärjestelmän muutos ja sen mukaan tuoma digitalisaatio mahdollistaa työohjeiden laatimisen käyttäjien tarpeiden ja vaatimustason mukaisesti. Tällöin työohje suunnitellaan edelleen työohjetasolle, mutta se voidaan esittää esimerkiksi mobiililaitteella ensin ylätason tehtäväluettelona ja sitten tarvittaessa purkaa tarkemmin tehtävittäin alemmille tasoille.

8 Pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, että millainen on hyvä huollon työohje ja mitä sen luomisessa tulisi huomioida. Tutkimuksen lähtökohtana oli kehittää Millog Oy:ssä käytettävien työohjeiden käytettävyyttä yhtenä työtä tukevana välineenä. Työssä pyrittiin ymmärtämään työohjeiden merkitystä työn onnistumisen ja virheiden ehkäisyn kannalta, mutta unohtamatta sitä, että samalla voidaan parantaa myös työn tehokkuutta ja tuottavuutta. Tämän takia tutkimus tarkasteli aihetta kahdesta eri teoreettisesta näkökulmasta: turvallisuuskriittisen ympäristön erityisvaatimuksista, sekä valmistavan teollisuuden LEAN-ajattelun mukaisesta standardoidun työn mallista.

Tutkimuksen tuloksena saatiin keskeisiä periaatteita työohjeen tarkoitukselle, sisällölle, rakenteelle ja tekemiselle, joiden pohjalta luotiin perusteet Millog Oy:n työohjeiden laadinnalle. Tulos-

ten perusteella voidaan todeta, että Millog Oy:n toimintaympäristö edellyttää työohjeilta huomattavasti enemmän kuin tavanomainen teollinen ympäristö. Tutkimuksessa onnistuttiin tunnistamaan ja kuvaamaan millaisia vaatimuksia työohjeille asetetaan. Lisäksi esitettiin kaksi- tai jopa kolmitasoinen ratkaisu ohjeiden rakenteen kehittämiseksi, mikä huomio eri käyttäjäryhmien tarpeet ja vähentää työntekijän kognitiivista kuormitusta ja inhimillisten virheiden mahdollisuutta.

Tutkimustulosten perusteella ei kuitenkaan toteutettu käytännön pilotointia, havainnointia tai käyttäjätestausta, minkä vuoksi monitasoisen ohjerakenteen käytettävyydestä ei ole empiiristä näyttöä. Tämän takia tulosten yleistettävyydessä tulee olla jossain määrin varovainen. Lisäksi tutkimus on vahvasti kontekstisidonnainen ja rajattu strategisen kumppanuuden erityispiirteisiin. Lisäksi digitaalisten työkalujen vaikutusta ohjeiden esittämiseen ei käsitelty syvällisesti, vaikka tulevaisuudessa ne tulevat olemaan keskeisiä.

Tulosten hyödyntämismahdollisuudet Millog Oy:ssä ovat kuitenkin ilmeiset. Monitasoinen ohjerakenne voidaan implementoida tulevaan digitaaliseen dokumentaatioympäristöön, mikä mahdollistaa ohjeiden esittämisen mobiililaitteilla joustavasti erilaisten käyttäjän tarpeiden mukaan. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää myös ohjeistuksen arviointi- ja kehitysprosessissa, sekä osana mekaanikkojen perehdytystä ja laadunhallintaa.

Tutkimuksessa ei otettu kantaa vanhojen työohjeiden korjaamiseen tarvittaviin resursseihin tai uusien työohjeiden luomisen vaatimiin panostuksiin, mutta se herätti tekijällä kuitenkin ajatuksen käytännön toteutuksen realiteeteista. Mikäli toimija kuten FAA, joka on tutkinut mittavilla panoksilla teknisen dokumentaation merkitystä kunnossapidossa käytännössä vähintään koko 1990-luvun, ja näiden tutkimusten pohjalta on luotu ohjeita, normeja ja jopa lainsäädäntöä, mutta edelleen vuonna 2012 FAA toteaa, että tekninen dokumentaatio on ilmailun kunnossapidon suurin inhimillisiin tekijöihin liittyvä haaste, niin johtaako tämä tutkimus käytännön kehitykseen?

Jatkotutkimuksen ja kehittämisen näkökulmasta keskeisiä teemoja ovat kehitetyn ohjerakenteen pilotointi käytännössä, mekaanikkojen kokemusten ja palautteen kerääminen, sekä uuden käyttöliittymän perusteiden luominen. Lisäksi olisi syytä selvittää, että miten ohjeiden laadintaresurssit,

organisaation roolit ja dokumenttien hallinnan prosessit tukevat työohjeiden kehittämistä. Käytännössä ohjeiden laadinnan yhtenäistäminen ja jatkuva ylläpito edellyttää selkeää prosessikuvausta, dokumenttien hallintamallia, sekä johdon tukea ja koulutusta.

Tutkimus osoitti, että kunnossapidon työohje ei ole pelkkä tekninen asiakirja, vaan keskeinen osa järjestelmää, joka tukee turvallisuutta, laatua ja toiminnan tehokkuutta. Hyvin laadittu ohje ei ainoastaan ehkäise virheitä, vaan mahdollistaa laadukkaan ja tehokkaan työn myös vaativissa ympäristöissä. Tutkimus toi esiin tarpeen tarkastella ohjeistusta sen käyttäjän näkökulmasta osana kompleksista järjestelmää eikä pelkästään irrallisena teknisenä dokumenttina.

Lähteet

Avers, K., Johnson, B., Banks, J. & Wenzel, B. 2012. Technical Documentation Challenges in Aviation Maintenance: A Proceedings Report. DOT/FAA/AM-12/16. Washington, DC: Office of Aerospace Medicine, Federal Aviation Administration. https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/201216.pdf

Aviation Maintenance Technician Handbook - General. 2023. FAA-H-8083-30B. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Flight Standards Service. Viitattu 5.5.2024. https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/amtg_handbook.pdf

Boyne, W.J. 2013. The checklist. Air Force Magazine 2013, 52-56. Viitattu 29.3.2025. <https://www.airforcemag.com/PDF/MagazineArchive/Documents/2013/August%202013/0813checklist.pdf>

Degani, A & Wiener, E. 1993. Cockpit Checklists: Concepts, Design and Use. Human Factors, 35(2), 28-43. Viitattu 28.4.2025. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/001872089303500209>

Eriksson, P & Koistinen, K. 2014. Monenlainen tapaustutkimus. Helsinki. Kuluttajatutkimuskeskus. Viitattu 28.4.2025. <https://helda.helsinki.fi/bitstreams/fecd7913-7363-4d9f-9e2e-2d9f3e597230/download>

Federal Aviation Administration. 1993. Human Factors in Aviation Maintenance: Phase Three, Volume 1 Progress Report. DOT/FAA/AM-93/15. Washington, D.C.: Office of Aviation Medicine. Ladattu 9.10.2024. https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/AM93-15.pdf

Gawande, A. 2009. The checklist manifesto: How to get things right. New York: Metropolitan Books.

Huntzinger, J. 2002. The Roots of Lean. Training Within Industry: The Origin of Kaizen. Julkaisussa Target Magazine. Volume 18, Number 2 (Second Quarter). 9-22. Ladattu 21.4.2024. Tekijän hallussa. <https://www.twi-institute.com/resources/the-roots-of-lean-training-within-industry-the-origin-of-kaizen/>

Kilponen, T. & Jokinen, T. 2020. Standardoitu työ. Teoksessa LEAN with Passion. Oulun ammattikorkeakoulu. Viitattu 20.4.2025. <https://oamk.fi/wp-content/uploads/2019/01/lean-erikoisnumero.pdf>

Meilinger, P. When the Fortress Went Down. 2004. Air & Space Forces Magazine. Viitattu 28.3.2025. <https://www.airandspaceforces.com/article/1004fortress/>

Mikkonen, J. 2021. Mahdollistava logistiikkajärjestelmä hyödyntää kumppanuuksia. Julkaisussa Sotataloustietoutta XI. Sotatalous 2020-luvulla. Sotataloudellinen Seura – Krigsekonomiska Samfundet ry, 65-83. Viitattu 15.3.2025. https://bin.yhdistys-avain.fi/1584898/5C8xfmHlDz1thilvjRm0WhlRi/Sotataloustietoutta_XI_verkkojulkaisu.pdf

Millog. 2025. Viitattu 22.5.2025. <https://millog.fi/millog-group/millog-oy/>

Misiurek, B. 2016. Standardized Work with TWI: Eliminating Human Errors in Production and Service Processes. Boca Raton. CRC Press.

Model 299 Crash. National Museum of the United States Air Force. Viitattu 28.3.2025. <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/610002/model-299-crash/>

Patel, S. Prabhu, P. Drury, C. 1994. Design of work control cards. Buffalo: State University of New York at Buffalo, Department of Industrial Engineering. Ladattu 15.3.2024. Tekijän hallussa. https://www.academia.edu/126798480/Design_of_Work_Control_Cards

Pearl, A & Drury, C. 1996. Teoksessa Human Factors in Aviation Maintenance: Phase Five Progress Report. DOT/FAA/AM-96/2. Washington, DC: Office of Aviation Medicine, Federal Aviation Administration. Ladattu 15.1.2024. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/21427/dot_21427_DS1.pdf

Poór, P., Ženíšek, D. & Basl, J. 2019. Historical Overview of Maintenance Management Strategies: Development from Breakdown Maintenance to Predictive Maintenance. Viitattu 22.2.2025. https://www.researchgate.net/publication/335444202_Historical_Overview_of_Maintenance_Management_Strategies_Development_from_Breakdown_Maintenance_to_Predictive_Maintenance_in_Accordance_with_Four_Industrial_Revolutions

Puolustusvoimat. GQA-laadunvarmistus ja AQAP-julkaisut 2019. Viitattu 23.3.2025. https://puolustusvoimat.fi/documents/1948673/2267766/GQA_ja_AQAP_2019.pdf/

Puolustusvoimat. HN637. Puolustusvoimien kunnossapito. Pääesikunta 14.11.2017. Helsinki: Puolustusvoimat.

Reason, J & Hobbs, A. 2003. Managing Maintenance Error. A Practical Guide. Surrey: Ashgate.

Reason, J. 2000. Human error: models and management. BMJ, vol 320. 768-770. Viitattu 10.4.2025. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1117770/>

Reiman, T & Oedewald, P. 2006. Turvallisuuskriittisten organisaatioiden erityispiirteet. Helsinki: VTT

Reiman, T. & Oedewald, P. 2008. Turvallisuuskriittiset organisaatiot: onnettomuudet, kulttuuri ja johtaminen. Helsinki: Edita.

Schulz, T. 2012. Where did checklists come from? Air Combat Command Safety Office. Viitattu 29.3.2025. <https://www.acc.af.mil/News/Article-Display/Article/200135/where-did-checklists-come>

SFS. 2017. SFS-EN 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Vahvistettu 8.12.2017. SFS Online.

SFS-EN ISO 9000:2015. Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Vahvistettu 5.10.2015. SFS Online.

SFS-EN ISO 9001:2015. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Vahvistettu 5.10.2015. SFS Online.

SFS-EN ISO 9004:2018. Laadunhallinta. Organisaation laatu. Ohjeita jatkuvan menestyksen saavuttamiseen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Vahvistettu 20.4.2018. SFS Online.

Shepherd, W. Johnson, W. Drury, C. Taylor, J. & Berninger, D. 1991. Human Factors in Aviation Maintenance: Phase 1 – Progress Report. DOT/FAA/AM-91/16. Washington, D.C.: Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine. Ladattu 15.1.2025. https://www.faa.gov/sites/aa.gov/files/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/AM91-16.pdf

Silvasti, M. 2017. Turvuus – kohti uutta turvallisuusymmärrystä. Artikkelitiede ja ase Vol 74 lehdessä. Verkkojulkaisu. Viitattu 27.1.2025. <https://journal.fi/ta/article/view/60628>

Teperi A-M. 2023. Ihminen turvallisuuden tekijänä. Helsinki: Gaudeamus.

Teperi, A-M. Ruotsala, R. & Ala-Laurinaho, A. 2021. Inhimilliset tekijät turvallisuudessa – onnistuneen kehittämisen elementtejä. Helsinki: Työterveyslaitos. Viitattu 15.5.2024. <https://urn.fi/URN:ISBN:9789522619679>

TSK 50. Kokonaisturvallisuuden sanasto, 2. laitos. 2017. Helsinki: Sanastokeskus TSK. Viitattu 20.1.2025. https://turvallisuuskomitea.fi/wp-content/uploads/2018/02/Kokonaisturvallisuuden_sanasto.pdf

U.S Army. Pilot Training Manual for the B-17 Flying Fortress. 1944. Headquarters Army Air Forces, Office of Flying Safety. Viitattu 29.3.2025. <https://digitalcollections.museumofflight.org/items/show/46676>

Vicente, K. 1999. Cognitive work analysis: Toward safe, productive, and healthy computer-based work. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates. VitalSource Bookshelf version.

