



Kuljetusveneiden luotettavuuskeskeinen kunnossapito

Joni Pekkala

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Joulukuu 2023

Elinkaaren hallinta- tutkinto-ohjelma (YAMK)

Pekkala Joni

Kuljetusveneiden luotettavuuskeskeinen kunnossapito

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Joulukuu 2023, 64 sivua.

Elinkaaren hallinta- tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: Suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Merenkulun järjestelmien tärkeimpiä ominaisuuksia ovat niiden käyttöturvallisuus ja käyttövarmuus, etenkin kriittiseksi tunnistettujen laitteiden osalta. Näiden laitteiden kunnossapidon suunnittelulle ja johtamiselle aiheuttaa haasteita vaihtelevien käyttöolosuhteiden lisäksi järjestelmien monimutkaistuminen; laitevalmistajien laatimat ohjeet eivät sellaisenaan kata kaikkia niitä käyttöturvallisuuteen ja käyttövarmuuteen vaikuttavia tilanteita, jotka muodostuvat laitteistojen useiden rajapintojen sekä vaihtelevien käyttöolosuhteiden myötä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Puolustusvoimissa käytettävän kuljetusveneiden kriittiset laitteet sekä tunnistaa käytössä olevan huolto-ohjelman päivitystarpeet. Lisäksi arvioidaan RCM-analyysin soveltuvuutta tutkimuksen kohteena olevan kuljetusveneiden laitteiston kriittisyyden tunnistamiseen sekä huolto-ohjelman laatimiseen. Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä käytettiin toimintatutkimusta, joka soveltuu toiminnan kehittämisen tutkimiseen, tässä tapauksessa kunnossapitotoiminnan kehittämisen. Opinnäytetyön konkreettisena tavoitteena on tuottaa kehittämisideoita ja ratkaisuehdotus, tuottaen samalla uutta tietoa toimeksiantajalle ja laajemmin Puolustusvoimille. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen järjestelmäkeskus.

Tutkimuksessa tunnistettiin kunnossapidon ongelmaksi RCM-menetelmän käytön osalta vikakirjausten puutteet, jotka osaltaan heikentävät RCM-menetelmän käyttöarvoa. Tutkimuksessa tehtyjen havaintojen perusteella voidaan todeta, että vikakirjausten laatu ja sisältö poikkeavat toisistaan sekä käyntiaikojen merkinnöissä on puutteita. RCM-tietokantaa hyödyntäen tehtiin vika- ja vaikutusanalyysit, jonka perusteella kyettiin määrittämään useita uusia kunnossapitotehtäviä.

Avainsanat (asiasanat)

Luotettavuus, käyttövarmuus, kunnossapito, kriittisyys, vikaantuminen.

Pekkala Joni

Reliability centered maintenance of transport vessels

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 64 pages

Master`s Degree Programme in Lifecycle Management. Master`s thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

In a maritime environment, the key operating characteristics of shipborne systems are reliability and security, especially concerning critical equipment. Varying operating conditions of the equipment and multiple interfaces of the equipment itself create complex fault-situation which the manufacturers maintenance programs alone are not able to address. This challenges both planning and management of system maintenance.

The overall purpose for this thesis is to improve the maintenance program currently used on the transport boats of the Finnish Defence Forces. Second aim is to assess the suitability of an RCM-analysis as a basis to prepare maintenance programs. As the method of research, operational research was selected, as this method is suitable to research process development. The first phase of this thesis is to recognize critical equipment of the transport boats. In the second phase, utilizing key findings, the aim is to yield development ideas and new solutions for the maintenance program. Moreover, this thesis will generate new subject matter information for the Finnish Defence Forces. This thesis was commissioned by the Systems Center of the Defense Forces Logistics Command.

The key finding regarding RCM-software was that the user made maintenance inputs were incomplete or distorted, weakening the potential and value of RCM-software analysis. It was observed that the user made inputs such as fault definitions were varying and had differences, likewise the inputs concerning equipment usage times had incompletions. A fault-effect-analysis was made by using the RCM-software analysis, enabling the validation of equipment that are critical to the usability of the transport boats. Furthermore, based on the RCM-software analysis, an updated maintenance program was created, as well as multiple new maintenance tasks.

Keywords/tags (subjects)

Reliability, maintenance, criticality, failed state.

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Kunnossapidon merkitys operointivaiheessa	3
1.2	Lähtökohta	3
1.3	Toimeksiantaja	4
1.4	Aiheen rajausta ja työn tavoite	5
1.5	Tutkimusaineisto ja menetelmät	5
1.6	Keskeiset käsitteet ja teoreettinen viitekehys	6
2	Kunnossapito	9
2.1	Kunnossapidon määritelmä	9
2.2	Kunnossapitojärjestelmä.....	10
2.3	Kunnossapitolajit.....	11
2.4	Kunnossapidon mittarit ja kustannukset	16
3	RCM-analyysi	21
3.1	RCM-analyysin tavoitteet.....	21
3.2	Kohteen valinta ja tiedon kerääminen	24
3.3	Järjestelmän ja osajärjestelmien määrittäminen ja operointi	25
3.4	Järjestelmän toiminnot ja lohko-kaavio	27
3.5	Redundanssi	28
3.6	Vikaantumistavat ja vaikutukset	29
3.7	Vika- ja vaikutusanalyysi	33
3.8	Kunnossapitotehtävät	36
3.9	Kunnossapito-ohjelman kehittäminen.....	39
4	Kriittisyysanalyysi	40
5	Menetelmät ja kuljetusveneen kunnossapidon nykytilanne	42
5.1	Tutkimusmenetelmän valinta	42
5.2	Tiedon kerääminen	43
5.3	Kunnossapidon nykytilanne ja organisaatio	45
5.4	Kriittisten laitteiden valinta ja suojapalvelu.....	47
6	RCM-analyysin toteutus	48
6.1	Kuljetusvene.....	48
6.2	Vika- ja vaikutusanalyysi	49
7	Tulokset	52
7.1	Vikailmoitusten jakautuminen ja haastattelutulokset.....	52

7.2	Kriittisyysanalyysin tulokset	53
7.3	Vika- ja vaikutusanalyysin pohjalta määritetyt tehtävät	54
7.4	Dynaaminen huolto-ohjelma ja jatkuva kehittäminen	58
8	Johtaminen ja jalkautus kentälle	59
9	Johtopäätökset ja pohdinta	61
Liitteet		1
	Liite 1. Haastattelukysymykset.....	1

Kuviot

Kuvio 1.	Suorituskyvyn elinjakson vaiheet.....	6
Kuvio 2.	Geneerisen elinjakson malli.	7
Kuvio 3.	Käyttövarmuus.	8
Kuvio 4.	Kunnossapitolajit.....	11
Kuvio 5.	Korjaava kunnossapito.	12
Kuvio 6.	Kuntoon perustuva kunnossapito.	13
Kuvio 7.	Jaksotettu kunnossapito.	14
Kuvio 8.	Parantava kunnossapito.....	15
Kuvio 9.	Muu kunnossapito.....	16
Kuvio 10.	Käyttövarmuudesta johtuvat kustannukset operointivaiheessa.....	20
Kuvio 11.	Vikakerymäkuvaaja.	31
Kuvio 12.	Jehu-luokan kuljetusvene.....	48
Kuvio 13.	Vika- ja vaikutusanalyysi prosessi työpajojen aikana.....	50
Kuvio 14.	Vikailmoitusten kohdentuminen järjestelmittäin.....	52
Kuvio 15.	Eniten vikaantuvat järjestelmät haastatteluiden perusteella.	53
Kuvio 16.	RCM-analyysitietokannan työkalulla arvioidut tasot.....	54
Kuvio 17.	RCM-analyysin tuloksena määritettyjen tehtävien jakautuminen.	56
Kuvio 18.	Määritetyt tehtävät kunnossapitolajeittain.....	56
Kuvio 19.	Järjestelmät joille määritettiin uusia kunnossapitotehtäviä.....	57
Kuvio 20.	Vikailmoitusten määrän kehittyminen.	59

1 Johdanto

1.1 Kunnossapidon merkitys operointivaiheessa

Kaikki mikä menee ylös, tulee ennemmin tai myöhemmin alas. Merelle on moni lähtenyt, ja nykypäivinä yhä useampi tulee myös takaisin. Tien pientareella yleensä toivoo, että hinausauto tulisi mahdollisimman nopeasti. Edelliset lauseet voisivat antaa kuvan siitä, kuinka erilaisista lähtökohdista organisaatiot miettivät järjestelmien käyttövarmuutta ja kriittisyyttä.

Järjestelmien monimutkaistuminen aiheuttaa haasteita näiden kunnossapidon suunnittelemiselle ja johtamiselle. Laitteistojen useat rajapinnat ja vaihtelevat käyttöolosuhteet luovat tilanteita, joihin laitevalmistajien omat huolto-ohjelmat eivät yksinään pysty vastaamaan siten, että laitteistolta vaadittu käyttövarmuus pystytään säilyttämään. Merenkulun näkökulmasta turvallisuus tulee ensimmäisenä, etenkin kun tarkastellaan kriittisiä laitteita. Kun turvallisen merenkulun lisäksi aluksen operointi tarvitsee myös toimivat johtamis- ja asejärjestelmät, muodostuu useita rajapintoja, jotka liittyvät toisiinsa, ja joilla on erilaisia valmistajien huolto-ohjelmia. Osana Puolustusvoimia Merivoimat ovat erityisen tekninen puolustushaara, jonka suorituskyky muodostuu aluksien järjestelmien toiminnasta.

Opinnäytetyössä tutkittiin kuljetusveneiden operointivaiheen kunnossapitoa, ja sitä, kuinka kunnossapito-ohjelma luodaan RCM-menetelmää (Reliability Centered Maintenance) käyttäen. Lisäksi tutkittiin onko RCM-menetelmä juuri oikea menetelmä tämän tyyppiselle kalustolle. Näin ollen tutkimuskysymykseksi muodostui; soveltuuko RCM-analyysi kuljetusveneiden huolto-ohjelman rakentamiseen?

1.2 Lähtökohta

Kuljetusveneiden kunnossapidosta vastaava Puolustusvoimien logistiikkalaitos tarvitsi kuljetusveneiden RCM-analyysin loppuunsaattamisen. Ala kehittyy nopeasti kun uusia tiedonkeruu tapoja otetaan käyttöön digitalisaation myötä. Kerättyä tietoa on mahdollista hyödyntää nykyisen järjestelmän kunnossapidon tukemisen lisäksi suunniteltaessa seuraavaa alusluokkaa.

Tutkimusaihe koskettaa laajasti tekniikan alaa, ja RCM-analyyseistä on tehty useita opinnäytetöitä, mutta ei merenkulun toimijoille.

Aihe valittiin oman kiinnostuksen ja toimeksiantajan tarpeen vuoksi. Toimeksiantaja on kiinnostunut kustannusten tarkasta määrittelystä ja optimoinnista, sekä kunnossapidon tehostamisesta. Maanpuolustukseen hankittavien järjestelmien suorituskyvyn rakentamiseen ja ylläpitoon kuuluu Puolustusvoimien vaatimusten täyttävien suorituskykyjen luominen ja järjestelmän elinkaaren kestävä ylläpito.

1.3 Toimeksiantaja

Puolustusvoimien päätehtävät ovat Suomen sotilaallinen puolustaminen, muiden viranomaisten tukeminen, osallistuminen kansainvälisen avun antamiseen ja osallistuminen kansainväliseen sotilaalliseen kriisinhallintaan. Puolustusvoimilla on palkattua henkilökuntaa rauhan aikana 12000 (Valtioneuvoston puolustusselonteko, 2021). Puolustusvoimia johtaa puolustusvoiman komentaja ja rauhanajan organisaatio koostuu maavoimista, merivoimista, ilmavoimista, maanpuolustuskorkeakoulusta ja pääesikunnasta. Puolustusvoimien logistiikkalaitos on pääesikunnan alainen laitos.

Puolustusvoimien logistiikkalaitos tuottaa Merivoimien alusten materiaalisen suorituskyvyn ylläpitopalvelut. Logistiikkalaitoksen ydintehtävä on varmistaa suorituskykyjen tehokas käyttö. Puolustusvoimien logistiikkalaitos huolehtii puolustusmateriaalin hankinnoista ja käyttökelpoisuudesta sekä joukkojen, henkilöstön ja järjestelmien toimintakyvystä. Puolustusvoimien materiaalin omistaa logistiikkalaitos joka järjestelmävastuullisena vastaa materiaalin teknisestä elinjaksosta.

Logistiikkalaitoksen järjestelmäkeskus vastaa materiaalin ja järjestelmien hankintatoiminnan teknisestä valmistelusta, elinjakson hallinnasta sekä kunnossapidosta. Järjestelmäkeskuksen merijärjestelmäosaston tehtävänä on toimia järjestelmävastuullisena merivoimien laivasto- ja rannikkojoukkojen kalustolle. Kunnossapito tuotetaan pääsääntöisesti kumppanuussopimusten ja vuosityöohjelmien mukaisesti teollisten strategisten kumppaneiden, sekä muiden kumppaneiden toteuttamana.

Tutkimukselle haettiin tutkimuslupaa Puolustusvoimien pääesikunnasta. Tutkimuslupa myönnettiin pääesikunnan logistiikkaosaston toimesta asiakirjalla AT13730/24.5.2023.

Tutkimusluvassa on mainittu, että tutkimus on raportoitava oppilaitokselle täysin julkisena, ja että RCM-analyysistä ei laadita liitettä opinnäytetyöhön. (Tutkimuslupapäätös, 2023)

1.4 Aiheen rajaus ja työn tavoite

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kuljetusveneen luotettavuuskeskeistä kunnossapitoa ja vikaantumista keräämällä vikatietoja toiminnanohjausjärjestelmästä. Vikatietoja aineistona käyttäen pyrittiin löytämään ennustettavia vikakohteita, joita voidaan hyödyntää kunnossapidon suunnittelussa. Ennakoitavien vikojen löytäminen on tärkeää alusten käyttövarmuuden kannalta, ja siihen tulisi löytää hyviä käytäntöjä tulevaisuuden kannalta, koska järjestelmien tulevaisuuden näkymä tekniikan osalta on niiden muuttuminen monimutkaisemmiksi.

Opinnäytetyössä rajattiin tutkimuksen piiriin yksi alusluokka. Olemassa olevaa teoretietoa hyödyntämällä pyrittiin luomaan toimintatapamalli siihen, kuinka vikataajuuksia voidaan käsitellä, ja ottaa huomioon huolto-ohjemaan muodostettaessa. Työtä rajattiin edelleen aluksen sisällä koskemaan alusteknisiä järjestelmiä. Työn rajaukset osoittautuivat opinnäytetyöhön sopiviksi, koska laajempi rajaus olisi lisännyt työhön käytetyn tuntimäärän suuremmaksi kuin mihin opinnäytetyöhön varattu aika olisi riittänyt.

1.5 Tutkimusaineisto ja menetelmät

Menetelmänä käytettiin toimintatutkimusta, jonka tavoitteena oli ratkaista käytännön ongelmia ja saada muutoksia aikaan. Tarkoituksena oli tuottaa kehittämisideoita ja samalla ratkaisuehdotus. Samalla tuotettiin uutta tietoa ja ymmärrystä aiheesta. Työssä kehitettiin organisaation luotettavuuskeskeistä kunnossapitoa.

Aineistoa kerättiin SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä alusluokan osalta vuoden 2015 ja tätä myöhemmin tehtyihin kirjauksiin. Tämä siksi, että SAP-toiminnanohjausjärjestelmän toiminnallisuuksilla hallitaan järjestelmien elinjaksoa. Tämän lisäksi aineistoa kerättiin myös haastatteluilla, viranomaistarkastusten raporteista, sekä laitevalmistajien ja järjestelmävastaavan organisaation ohjeista ja manuaaleista. Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään järjestelmän kunnossapitoa, elinjaksoa, käyttövarmuuden hallintaa, suorituskykyä, sekä

toiminnanohjausjärjestelmää. SAP-toiminnanohjausjärjestelmän toiminnallisuuksilla hallitaan järjestelmien elinjaksoa.

Opinnäytetyö suoritettiin kahteen erilliseen dokumenttiin. Itse opinnäytetyö on julkinen dokumentti, joka on julkisesti saatavilla julkaisun jälkeen. Toisen kokonaisuuden muodostaa tutkimuksen aikana tuotettu huolto-ohjelma sekä muu siihen liittyvä raportointi ja aineisto, jotka rajautuvat ainoastaan toimeksiantajan käyttöön.

1.6 Keskeiset käsitteet ja teoreettinen viitekehys

Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys perustuu kuljetusveneiden operointivaiheeseen. Operointivaiheen käytettävyyssaste ohjaa kunnossapito-organisaation toimintaa. Opinnäytetyön tavoite oli käyttää luotettavuuskeskeisen kunnossapidon (RCM) työkaluja paljastamaan ja kehittämään kunnossapitokonseptin puutteita.

Operointivaiheessa järjestelmävastuullinen organisaatio vastaa varastoitujen ja käytössä olevien laitteiden ja materiaalin kierrättämisestä käyttö- ja tehtäväprofiilin mukaan. Tällä tavalla voidaan varmistaa laitteiden ja varastoidun materiaalin tasainen kulutus sekä kunnan seuranta. (Kosola 2004, 375). Kuviossa yksi esitetään järjestelmien elinjakson vaiheet Puolustusvoimissa.



Kuvio 1. Suorituskyvyn elinjakson vaiheet. (Kosola 2007, 64.)

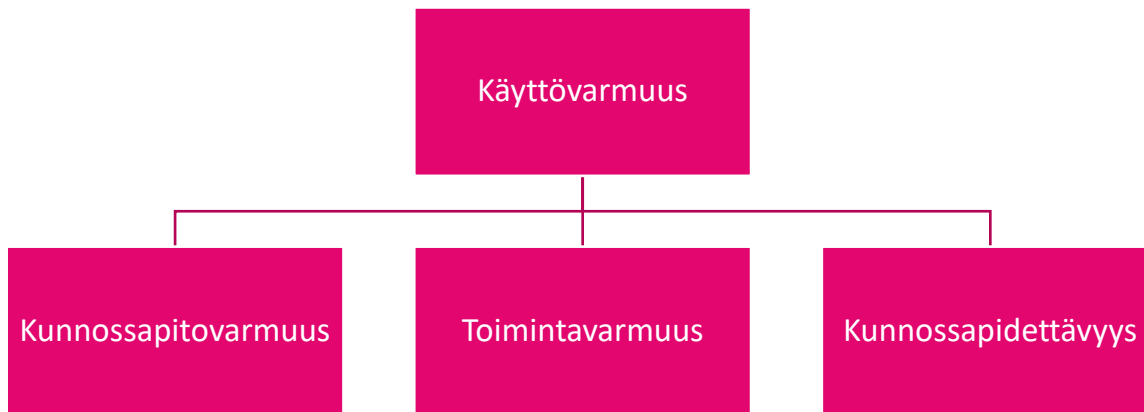
Opinnäytetyössä käytetään myös lähteitä, joissa on viitattu geneeriseen elinjaksomalliin, joka poikkeaa Puolustusvoimien käyttämästä mallista. Geneerinen elinjaksomalli esitetään kuviossa kaksi. Operointivaiheeseen kuuluu geneerisen elinjaksomallin mukaiset käyttö ja parantaminen.



Kuvio 2. Geneerisen elinjakson malli. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 18.)

Käyttövaihe alkaa, kun järjestelmä otetaan käyttöön ja järjestelmien toimintaa ylläpidetään kunnossapidolla. Käyttövaiheen aikana järjestelmää käytetään suorituskykyvaatimusten mukaisella tavalla, koulutetaan kunnossapito- ja käyttöhenkilöstöä, sekä kirjataan tapahtumia ja vikatapahtumia ehkäisevien ja korjaavien kunnossapitotapahtumien käyntiin saattamiseksi. Riskitarkasteluissa tulee ottaa huomioon muuttuva toimintaympäristö ja muuttuneet fyysiset olosuhteet. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 24.)

Kunnossapidettävyyden tarkoittaa kohteen kykyä olla palautettavissa tilaan, tai pidettävissä tilassa, jossa kohde suoriutuu vaadittuun toimintoon määritetyssä olosuhteessa, kun kunnossapitoa suoritetaan vaadittuja menetelmiä ja resursseja käyttäen määritellyissä olosuhteissa. (SFS-ISO 13306:2017, 8.) Kortelaisen ja muiden (2021, 19) mukaan kunnossapidettävyyden ja toimintavarmuuden ovat laitteiston ominaisuuksia, joihin vaikutetaan suunnittelun ja tuotekehityksen aikaisilla päätöksillä. Käyttövarmuus tarkoittaa järjestelmän kykyä tehdä vaatimusten mukainen toiminto, kun edellytykset toiminnon suorittamiselle ovat olemassa. Käyttövarmuuden määrittelyä voidaan soveltaa yksittäiseen koneeseen, laitteeseen, komponenttiin tai useista laitteistoista koostuvaan järjestelmään. Käyttövarmuuden määrittelyä voidaankin käyttää eri kohteisiin käyttötarkoituksesta ja koosta riippumatta. Käyttövarmuuteen johtavat tekijät on esitetty kuviossa kolme.



Kuvio 3. Käyttövarmuus. (PSK 6201:2022, 9.)

Kunnossapitovarmuus kuvaa organisaation kykyä suorittaa palvelu kunnossapidettävälle kohteelle. Ylläpidon järjestäminen ja kunnossapitovarmuuden kehittäminen ovatkin laitteen käytöstä vastaavan organisaation tehtäviä. Palautettavuus ja toipumiskyky liittyy laitteiston kykyyn säilyttää toimintakyky ilman korjaavaa kunnossapitoa. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 20.)

Puolustusvoimissa kunnossapitojärjestelmää kehitetään kaksitasoiseksi, joista kumpikin sisältää alempia tasoja. Tässä mallissa puolustusvoimat suorittaa itse suoran tuen laitteita käyttäville joukoille. Korjaukset ja suunnitellut huollot, sekä muutostyöt on toteutettu pitkäaikaisilla sopimuksilla teollisuuden kanssa. Puolustusvoimien ulkopuolelta hankittava ylläpito perustuu strategiseen yhteistyöhön teollisuuden kanssa, joka takaa kunnossapidon ja materiaalien saatavuuden poikkeusoloissakin. (Kosola 2007, 272.)

Organisaation käytössä olevat kunnossapitotasot alatasoineen noudattelevat EN13306-standardia. Kunnossapitotasot EN13306 (2017) standardin mukaan:

- Taso 1: Yksinkertaisia tehtäviä joiden koulutustarve on vähäinen.
- Taso 2: Perustehtäviä, joihin vaaditaan tarkkaa ohjeistusta ja pätevää teknistä henkilöstöä.

- Taso 3: Monimutkaisia tehtäviä, joissa vaaditaan tarkkaa ohjeistusta ja pätevää teknistä henkilöstöä.
- Taso 4: Tehtävät vaativat menetelmän, tai erikoistunutta teknistä henkilöstöä ja teknologian hallintaa.
- Taso 5: Tehtävien suorittaminen vaatii erikoistuneen toimittajan tai valmistajan tietämystä ja välineitä.

(Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 105.)

2 Kunnossapito

2.1 Kunnossapidon määritelmä

Kunnossapidon yksi keskeinen tavoite on hyvä käyttövarmuus. Myös tuotannon kokonaistehokkuus on keskeinen tavoite laitoksissa, jossa sitä lasketaan. Kunnossapidossa myös kustannustehokkuus, ympäristö ja turvallisuus tulee huomioida. (PSK 6201:2022, 5.)

Kunnossapito on termi, joka kattaa kaikki laitteiston elinkaaren hallinnolliset, tekniset, ja johdolliset toimet. Kunnossapidon tarkoitus on palauttaa ja ylläpitää laitteiston toimintakyky, jotta laitteisto on teknisesti kykenevä suorittamaan siltä vaaditun toiminnon. (SFS-ISO 13306:2017, 4.)

Kunnossapidon johto vastaa kunnossapidon strategian määrittelemisestä, varmistaen vaadittu käytettävyys kustannukset huomioiden. Johdon tulee huomioida määrittelytyössä henkilöstö, turvallisuus, ympäristö ja vaikutukset ympäristöön, sekä muut kohteeseen liittyvät vaatimukset. Johdon tehtävä on myös ylläpitää kohteen kestävyttä ja kustannukset huomioiden ylläpitää palveluiden ja tuotteiden laatua. Kunnossapidolla on suuri myötävaikutus kunnossapidettävän laitteen käyttövarmuuteen. (SFS-ISO 13306:2017, 4.)

Kortelaisen ja muiden (2021, 65) mukaan tuotanto-omaisuuden laadukas hallinta vaatii jokaisen organisaatiossa palvelevan panosta, eikä vain päällikkö- ja johtotason panosta. Koko henkilöstön on tärkeää ymmärtää omaisuuden hallinnalle asetetut periaatteen ja tavoitteet, sekä asetetut vaatimukset.

Kunnossapitostrategian vaatimukset tulee määritellä jo hankintavaiheessa, ja vaatimuksia päivitetään järjestelmän elinjakson aikana. Omaisuudelle asetettu korkea käytettävyys ja käyntiastevaatimus saavutetaan panostamalla toimintavarmuuteen, kunnossapidettävyyteen, kunnossapitovarmuuteen, laitteen virheensietokykyyn, käyttäjien taitoihin sekä näiden yhdistelmään. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 100.)

Kunnossapidon tavoitteet voivat olla organisaatiosta riippuen käytettävyyden parantamista, tuotteen laadun parantamista, kustannusten alentamista, käyttöomaisuuden arvon säilyttämistä sekä ympäristö- ja henkilöturvallisuuden parantamista. (SFS-ISO 13306:2017, 5.)

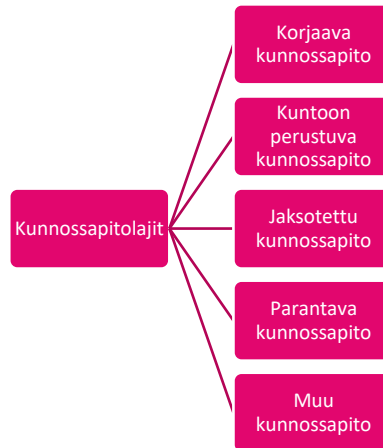
RCM-analyysi ei ole kunnossapitostrategia, vaan se on käyttövarmuuden kehitykseen käytettävä menetelmä. Käyttövarmuutta voi kehittää myös muilla menetelmillä.

2.2 Kunnossapitojärjestelmä

Kunnossapitojärjestelmä tuottaa käytettävyyttä ja käyttötunteja ylläpitämällä tarvittava määrä järjestelmiä tilanteesta tai resursseista riippuen. Resurssit ja olosuhteet poikkeavat merkittävästi poikkeusoloissa ja normaalioloissa, joten yleensä kahden rinnakkaisen kunnossapitojärjestelmän suunnitteleminen on tarpeellista. Lähtökohtana käytetään normaaliolon kunnossapitojärjestelmää, joka toimii perustana kriisiajan kunnossapidolle menetelmien ja vastuiden osalta. Kapasiteettia ja toiminnallisia yksiköitä lisäämällä saavutetaan kriisiajan kunnossapitojärjestelmä. (Kosola 2007, 273.)

2.3 Kunnossapitolajit

Kunnossapito jaetaan kuvion neljä mukaan kunnossapitolajeihin. Kunnossapitolajien sisältämillä toimenpiteillä parannetaan järjestelmän käyttövarmuutta saattamalla järjestelmä toimintakuntoon sekä pitämällä järjestelmä toimintakunnossa. (PSK 6201:2022, 26.)

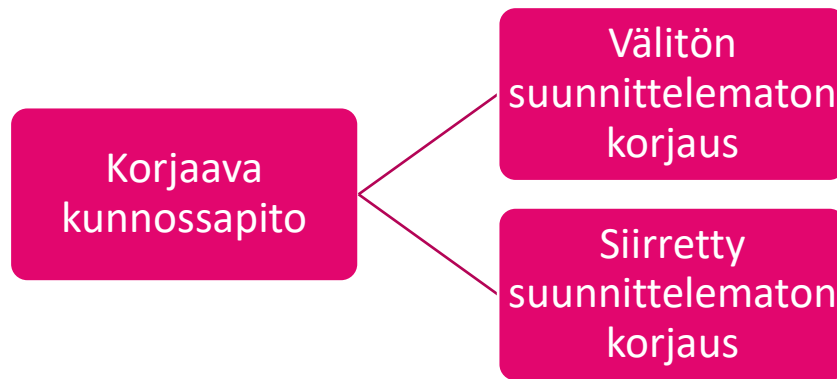


Kuvio 4. Kunnossapitolajit. (PSK 6201:2022, 26.)

RCM-analyysissä määritetään havaituille toiminnallisille vikaantumisille mahdollinen kunnossapitotehtävä, jolla vikaantumiseen puututaan.

Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito tarkoittaa kunnossapitoa, jolla palautetaan kohde siihen tilaan, jossa se pystyy toteuttamaan vaaditun toiminnon vikaantumisen jälkeen, tai rajoitetaan viasta aiheutuneet seuraukset tasolle, joka on hyväksyttävissä. Korjaavan kunnossapidon alalajit on esitetty kuviossa viisi. Välittömät korjaustoimet ovat suunnittelematonta kunnossapitoa, jotka tulevat yllättäen. Siirretyllä suunnittele mattomalla korjauksella tarkoitetaan toimenpidettä, jota ei suoriteta poikkeaman tai vian havaitsemisen perusteella, vaan kunnossapitotyö siirretään tuotannon tai kohteen tilan salliessa. Siirretyjä korjauksia voidaan suorittaa laitteille, jotka eivät vaaranna turvallisuutta, eivätkä vaikuta välittömästi tuotantoon. (PSK 6201:2022, 27–28.)



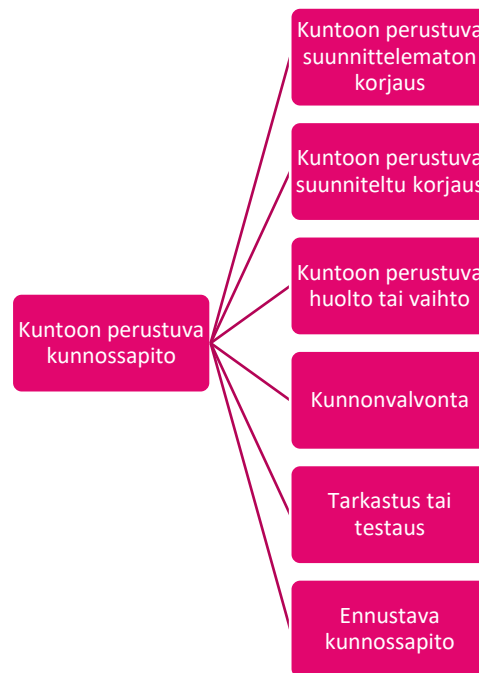
Kuvio 5. Korjaava kunnossapito. (PSK 6201:2022, 26.)

Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito perustuu määräaikaisiin, tai jatkuvaan kohteen tarkkailuun ja näiden perusteella suoritettaviin tehtäviin. Kuntoon perustuvan kunnossapidon alalajit on esitetty kuviossa kuusi. Vikaantumisen seurauksia voidaan pienentää reagoimalla niihin ajoissa. Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla pyritään ajoittamaan suunnittelemattomat häiriökorjaukset suunnitelluiksi toimenpiteiksi. Kuntoon perustuva suunnittelematon korjaus on toimenpide, joka siirretään tehtäväksi kohteen tilan sen salliessa, mutta ennen vikaantumista. Kuntoon perustuva suunniteltu korjaus tarkoittaa toimenpidettä, joka siirretään tuotantoajan ulkopuolelle, eikä suoriteta välittömästi poikkeaman havaitsemisen jälkeen. Kuntoon perustuva huolto tai vaihto tarkoittaa toimenpidettä, joka perustuu kohteen havaittuun kuntoon, esimerkiksi pidennetty öljynvaihtoväli jos se todetaan öljyanalysoinnin perusteella. Kuntoon perustuva huolto onkin jaksotetun huollon vaihtoehtoinen toimintamalli. (PSK 6201:2022, 30–31.)

Kunnonvalvonta on toimintaa, jossa seurataan ja havainnoidaan kohteen parametrejä, sekä ominaisuuksia. Kunnonvalvontaa voidaan suorittaa aistihavaintoina tai mittaamalla, ja se voi tapahtua jatkuvasti tai väliajoin. Tarkastus ja testaus toimenpiteillä todennetaan kohteen vaatimuksenmukaisuus. Tarkastus ja testaus voi liittyä lakisääteisiin vaatimuksiin tai määritettyihin kunnossapidollisiin tavoitteisiin. Ennustava kunnossapito on kuntoon perustuvaa kunnossapidon toimintaa, joka pyrkii ennustamaan kunnossapidollisten toimien sisältöä ja ajoitusta. Ennustavalla kunnossapidolla voidaan myös ottaa huomioon yksittäistä laitetta isompia kokonaisuuksia, kun kunnossapidon toimenpiteitä määritellään. Ennustamiseen voidaan käyttää tilastotiedettä,

algoritmeja, koneoppimista sekä kunnossapidon mittaus- ja tapahtumadataa. (PSK 6201:2022, 31–32.)



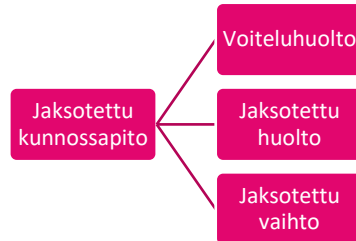
Kuvio 6. Kuntoon perustuva kunnossapito. (PSK 6201:2022, 26.)

Laitteiden monimutkaistuessa niiden vikaantumista on vaikeampaa ennustaa. Suurin osa vikaantumisista on niin satunnaista, että niiden käyttöaikaan perustuva huoltaminen ei ole mahdollista toteuttaa. Tilanteen hallitsemiseksi paras tapa on suorittaa kunnonvalvontaa, jolloin huoltaminen perustuu laitteen kuntoon. Kunnonvalvontaa suorittaessa ei tarvitse arvailla eikä ennustaa mitään, vaan menetelmässä arvioiminen perustuu laitteesta saatavaan tietoon ja toimintakuntoon. (Kortelainen. Komonen. Laitinen. Valkokari & Hanski 2021, 139.)

Jaksotettu kunnossapito

Jaksotettu kunnossapito suoritetaan ennalta määrättyjen määrien tai ajanjaksojen mukaisesti. Jaksotettu kunnossapito pienentää vikaantumisen todennäköisyyttä sekä hidastaa laitteen kulumisen etenemistä kohteessa, joten käytännön termi tälle toiminnalle on ehkäisevä kunnossapito. Voiteluhuollolla ylläpidetään voitelun laatu ja määrä määrättyllä tasolla, ja voiteluhuoltoa suoritetaan jatkuvasti, määräajoin tai tietyn käyttöajan jälkeen. Jaksotettu huolto on määräajoin suoritettava toimenpide, jolla ylläpidetään kohteen suorituskykyä. Jaksotettu

vaihto korvaa kohteen huolletulla yksiköllä tai uudella yksiköllä, tämä voidaan tehdä käyttömäärän tai ajan mukaan. Jaksotetun kunnossapidon alalajit on esitetty kuviossa seitsemän. (PSK 6201:2022, 32.)

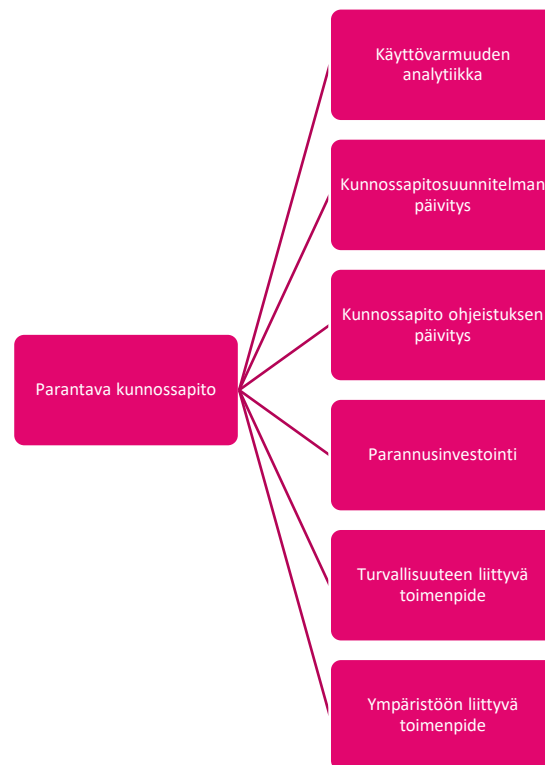


Kuvio 7. Jaksotettu kunnossapito. (PSK 6201:2022, 26.)

Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan toimia, jotka suoritetaan määritettyjen kriteerien perusteella kiintein aikavälein, jolla pyritään estämään tai havaitsemaan rakenteiden, järjestelmän tai osien heikkeneminen, jolloin käyttökelpoista ikää voidaan ylläpitää tai pidentää. (SFS-ISO 13372:2013, 10.)

Parantava kunnossapito

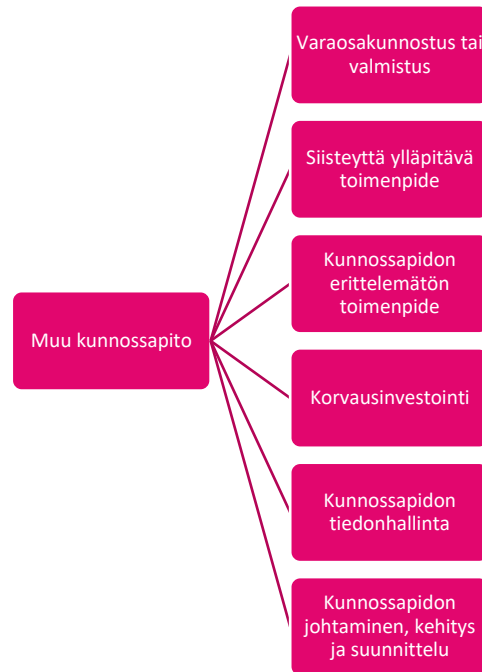
Parantavan kunnossapidon tavoite on parantaa kohteen turvallisuutta, toimintavarmuutta ja kunnossapidettävyyttä muuttamatta itse toimintoa. Parantavalla kunnossapidolla voidaan myös vaikuttaa kustannuksiin. Kuviossa kahdeksan on jaettu parantava kunnossapito alalajeihin.



Kuvio 8. Parantava kunnossapito. (PSK 6201:2022, 26.)

Muu kunnossapito

Muulla kunnossapidolla tarkoitetaan tehtäviä, jotka eivät liity edellisten kappaleiden tehtäviin. Muuta kunnossapitoa voi olla varaosakunnostus, jossa kulunut tai jo käytöstä poistettu varaosa kunnostetaan toimintakuntoon. Myös kunnossapidon tiedonhallinta, johtaminen, kehitys ja suunnittelu kuuluvat muuhun kunnossapitoon. Kunnossapidon johtamiseen kuuluu kunnossapitotoimintojen suunnittelu, pätevyysvaatimukset sekä koulutus. Muun kunnossapidon alalajit esitetty kuviossa yhdeksän. (PSK 6201:2022, 34.)



Kuvio 9. Muu kunnossapito. (PSK 6201:2022, 26.)

2.4 Kunnossapidon mittarit ja kustannukset

Kunnossapidon mittarointi ja vaatimukset

Mittareiden tarkoitus on toiminnan seuraaminen, johon voi myös liittyä tavoitteiden ja kehityskohteiden asettamista, sekä vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailua. Mittareiden avulla voidaan verrata organisaation laitteita keskenään, sekä ulottaa vertailu muiden organisaation laitteisiin, jotka käyttävät samaa mittaria. Tunnuslukuja ja suorituskykyä mittaavia tunnuslukuja tarvitaan kunnossapidon laatua seurattaessa. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 41.)

Organisaation nykytilan ja tulevaisuuden kannalta keskeisiä mittareita ovat suorituskykyä kuvaavat tunnusluvut (KPI, Key Performance Indicator). Järjestelmien ja niiden osajärjestelmien suorituskykyä mittaroimalla voidaan ylläpitää ja johtaa järjestelmiä tehokkailla menetelmillä koko järjestelmän elinkaaren ajan. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 41.)

Järjestelmän kokonaistehokkuutta tarkasteltaessa voidaan käytettävyyden laskentaan käyttää alla esitettyä kaavaa. (PSK 6201:2022, 44)

(1)

$$K = \frac{\text{Käyntiaika}}{\text{Käyntiaika} + \text{Seisokkiaika}}$$

missä K = käytettävyys

Käytettävyys on IEC 60050 -standardin mukaan käyttövarmuuden mittari. Kunnossapidon toimilla on suuri vaikutus käytettävyyteen. Suunnittelemattomat korjaukset, häiriöt ja laiterikot vaikuttavat järjestelmän käytettävyyteen. Suunnitelmallisen kunnossapidon vaikutus otetaan yhä useammin huomioon, kun lasketaan käytettävyyttä, mikä mahdollistaa järjestelmää käyttävän organisaation ja kunnossapito- organisaation yhteisen operatiivisen suunnittelun. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 41.)

Käyttövarmuudella tarkoitetaan kykyä, jolla järjestelmä toimii vaaditulla tavalla, kun sitä tarvitaan, tarkoittaen että järjestelmä on tilassa, jossa se suoriutuu vaadituista tehtävistä määritellyissä olosuhteissa, jolloin tarvittavat ulkopuoliset resurssit ovat käytössä. Käytettävyys sisältyy käsitteenä käyttövarmuuteen, jossa kunnossapitovarmuus, toimintavarmuus ja kunnossapidettävyys ovat vaikuttavat tekijät. Myös taloudellisuus, turvallisuus, käyttöolosuhteet ja käyttäjät liittyvät käyttövarmuuden kokonaisuuteen. (PSK 6201:2022, 9.)

Standardin ISO 13306 (2017,6) mukaan käyttövarmuus termi sisältää turvallisuuden, käytettävyyden, turvaamisen, kestävyuden ja taloudellisuuden. Näihin vaikuttavat tekijät ovat toimintavarmuus, kunnossapitovarmuus, kunnossapidettävyys, käyttötapa ja olosuhteet.

Käyttövarmuuden analytiikalla tarkoitetaan menetelmiä kuten vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (FMECA, Failure Mode, Effects and Criticality Analysis), vika- ja vaikutusanalyysi (FMEA). Kunnossapitosuunnitelman päivityksellä tarkoitetaan kunnossapitosuunnitelma muokkaamista, jolla pyritään parantamaan järjestelmän käyttövarmuutta. (PSK 6201:2022, 9.)

Yleisesti käytettyjä aikakäsitteitä ja teknisiä tekijöitä ovat käyntiaika vikaantumisvälillä (OTBF, Operating Time Between Failure), keskimääräinen vikaantumisväli (MTBF, Mean Time Between Failures), keskimääräinen korjausaika (MRT, Mean Repair Time), keskimääräinen toipumisaika (MTTR, Mean Time To Repair). (SFS-EN 13306:2017, 21.)

Suorituskykyä voidaan myös mitata Kortelainen ym. (2021, 149) mukaan tuotantolinjan toteutuneella kunnossapidollisella käytettävyydellä, suunniteltuun käyntiaikaan perustuvalla käytettävyydellä, keskimääräisellä toipumisajalla (MTTR), korjaavan kunnossapidon aiheuttamalla toimintakelvottomuusajalla, sekä jaksotetun kunnossapidon aiheuttamalla toimintakelvottomuusajalla. Kortelaisen ym. (2021, 149) mukaan suorituskyvyn mittaaminen aiheuttaa myös haasteita, esimerkiksi samaan juurisyyhyyn voi liittyä useampi korjaustyö, sekä kunnossapidon virheistä aiheutuvien töiden ja toimintakelvottomuuden mittareiden laskenta voi olla haastavaa.

Luotettavuusanalyysillä (RAM, Reliability, Availability, Maintainability) parametrejä voidaan käyttää suorituskykyä kuvaavana tunnuslukuna (KPI) kun asianmukaiset tiedot on hankittu laskemista varten. RAM-analyysi on joustava, koska sitä voidaan soveltaa koko järjestelmään tai yksittäiseen laitteeseen. Luotettavuusanalyysillä on joitakin rajoitteita, koska se perustuu keskimääräiseen tietoon. Korjausaika ja keskimääräinen vikaantumisväli laskelmat tuottavat keskimääräistä dataa, joka soveltuu analyysin tarkoitukseen. Keskimääräisten tietojen analysointi pelkästään voi olla kuitenkin harhaanjohtavaa. Keskiarvojen käyttö voi jättää peittoon todelliset vikaantumismallit ja johtaa virheellisiin toimiin järjestelmän kannalta. RAM analyysillä voidaan hienosäätää RCM analyysiä. (Sifonte & Reyes-Picknell 2017, 243.)

Keskimääräinen vikaantumisväli (MTBF) on luotettavuus parametrinä RAM-analyysissä. Keskimääräinen toiminta-aika vikaantumiseen (MTTF) käytetään kunnossapidettävyyteen liittyvänä parametrinä. MTBF on laitteiden vikaantumisten keskiarvo. Alla esitetyissä kaavoissa kaksi, kolme ja neljä, on esitetty näiden laskeminen, sekä näistä parametrinä saatava vioista johtuva toimintakelpoisuusaika.

(2)

$$MTBF = \frac{\text{Käyntiaika}}{\text{Vikojen määrä}}$$

missä MTBF = keskimääräinen vikaantumisväli

(3)

$$Mct = \frac{\text{Vian aiheuttama seisokki}}{\text{Vikojen määrä}}$$

missä Mct = keskimääräinen vikaväli

(4)

$$Ai = \frac{MTBF}{MTBF + Mct}$$

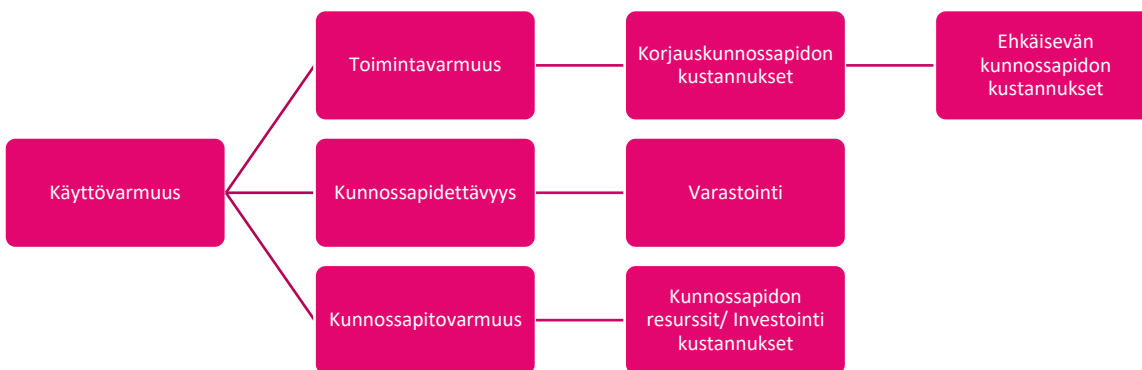
missä Ai = Toimintakelpoisuusaika

(Sifonte & Reyes-Picknell 2017, 239.)

Mittareilta saatua tietoa voidaan hyödyntää kunnossapitotehtävien välien määrittelyssä ja mahdollisiin parannustöihin, henkilöstön osaamistarpeiden määrittelyyn, työprosessien kehitykseen, ja kunnossapito- ja käyttöorganisaation sekä kunnossapitopalveluita toimittavan kumppanin ilmoittamiskäytäntöjen kehittämiseen. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 146.)

Kunnossapidon kustannukset elinkaaren aikana

Järjestelmän elinjakson aikaisiin kustannuksiin vaikuttaa tuotekehityksen aikaisen vaiheen päätökset. Suunnittelun edetessä varhaisten konsepti ja kehitysvaiheen päätösten muutokset vaikeutuvat. Järjestelmä täyttää varmemmin asetetut vaatimukset, kun vaatimukset pystytään määrittämään ennen tuotekehitystä. Järjestelmän toiminnalliset vaatimukset voidaan täyttää elinjakson hallinnan menetelmin, joita voidaan myös käyttää elinjakso-kustannusten minimoimiseen (LCC, Life Cycle Costing). Kuviossa kymmenen on esitetty käyttövarmuudesta johtuvat kustannukset. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 21.)



Kuvio 10. Käyttövarmuudesta johtuvat kustannukset operointivaiheessa. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 44.)

Yhdysvaltain puolustusministeriön 1960-luvulla kehittämä elinjakso-kustannuslaskenta (Life Cycle Costing, LCC) on käsite, jolla parannetaan tehokkuutta puolustusmateriaalihankinnoissa. LCC:n avulla käyttöön otettiin pitempi suunnittelu-aikajänne, joka huomioi huollolliset ja operointiin liittyvät kustannukset. Elinjakso-kustannuslaskennalla tuetaan pitkän aikavälin suunnittelua ja päätöksiä. Käytettäviä sovelluksia ovat mm:

- Kunnossapidon suunnitelmat.

- Käyttövarmuusvaatimuksien valinta ja kohdennus.
- Vaihtoehtoisten elinkaarimallien arviointi ja vertailu.
- Osto ja hankintapäätösten vertailu.
- Valittujen teknologioiden arviointi ja vertailu.
- Järjestelmän tai laitteen elinkaaren aikaisen ylläpidon, suunnittelun ja modernisoinnin budjetointi.
- Modernisointien kannattavuuden arviointi.

(Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 44.)

3 RCM-analyysi

3.1 RCM-analyysin tavoitteet

RCM-menetelmä kehitettiin ilmailuteollisuuteen, tarkoituksena parantaa käyttövarmuutta, turvallisuutta ja kustannustehokkuutta operoiville yrityksille. Ensimmäinen raportti on julkaistu vuonna 1978 Yhdysvaltain puolustusministeriön toimesta. Standardi SAE JA1011 julkaistiin vuonna 1999 jossa määritellään RCM prosessin kriteerit. Viimeisin standardin päivitys on julkaistu vuonna 2009. Standardi tarjoaa kriteerit RCM-analyysille, ja standardia voidaan myös käyttää organisaatioiden koulutukseen. (Sifonte & Reyes-Picknell 2017, 18.)

Alusten miehityksen vähentyminen on aiheuttanut järjestelmiä suojaavien ominaisuuksien lisääntymisen, mukaan lukien redundanssin, varoitukset ja automaattiset pysäytykset. Tämä lisää järjestelmän monimutkaisuutta ja lisää vianhaku tehtäviä, jotta varmistutaan että suojaavat laitteet ovat toiminnassa. Järjestelmien monimutkaistumisen lisäämä vianetsintä ja diagnosointi voi vaikuttaa aluksen operatiiviseen toimintaa merellä. Tästä johtuen on tärkeää ymmärtää aluksen järjestelmien toiminnot ja vikamuodot. Riskit ja seuraukset tulee olla tiedossa ja kunnossapitostrategian olla olemassa. (New & Gay 2012, 5.)

Tämän vuoksi Iso-Britannian kuninkaallinen laivasto on päätenyt RCM-menetelmän käyttöön, koska se tuottaa riittävän määrän kunnossapitoa, jotta riskit pysyvät hyväksyttävällä tasolla, ja ehkäisee tarpeetonta ja kallista kunnossapitoa kohteessa, jossa riskit ovat hyväksyttäviä. Jos aluksen henkilökunta ei pysty suorittamaan vaadittua kunnossapitotehtävää määräajassa, voi henkilökunta tarkastaa RCM-analyyseistä mitä vikaa kyseisellä kunnossapitotehtävällä hallitaan, ja ymmärtää mahdolliset seuraukset, jos huolto jää suorittamatta. Analyysi voi myös auttaa vian etsinnässä, kun järjestelmään on luotu polku kunnossapitotehtäville. (New & Gay 2012, 5.)

Huolto-ohjelmien kehittäminen on tunnistettu olevan keino yksinkertaisemman kaluston kunnossapidon kustannusten hallintaan. Alkujaan siviilikäyttöön suunnitellussa kalustossa säästöpotentiaali on suuri, koska käyttö poikkeaa merkittävästi kalustolle valmistajan suunnittelemaasta käytöstä. Logistiikkalaitos on soveltanut RCM-menetelmää kehittämään huolto-ohjelmia. Lopputuloksena on ollut kustannusten aleneminen ja käytettävyyden lisääntyminen. Toisaalta RCM-menetelmä tarvitsee suuren työmäärän järjestelmäinsinööreiltä, joka on osaltaan estänyt menetelmän soveltamisen, koska se lisää järjestelmäinsinöörien työmäärää entisestään. (Renko 2023, 13.)

RCM-menetelmään vaaditaan asiantunteva ryhmä, joka voi vastata seitsemään kysymykseen arvioitavasta järjestelmästä:

1. Laitteiden toimintojen määrittäminen ja käyttäjän edellyttämät suorituskyvyt laitteen toimintaympäristössä.
2. Millä tavoin laite voi vikaantua jotta, laite ei pysty suorittamaan vaadittuja toimintoja.
3. Toiminnalliseen vikaan johtavat syyt.
4. Vikaantumisen aiheuttamat tapahtumat.
5. Vikaantumisen vaikutukset.
6. Vikaantumisen ennustaminen tai ehkäisy.

7. Mitä tehdään, jos ennakoivia tehtäviä ei löydetä.

(Sifonte & Reyes-Picknell 2017, 20.)

RCM-menetelmä tuo systemaattisen lähestymistavan olemassa olevan kunnossapito-ohjelman parantamiseen ja uusien kunnossapidon vaatimusten laatimiseen. RCM-analyysin tuloksena luodaan kunnossapito-ohjelma, johon sisältyy kustannustehokkaimmat tekniset kunnossapitotoimet, jotka tuottavat vaaditun kyvyn suorittaa toiminto. Toiminnon suorituskyky ja sen säilyttäminen on verrattavissa toimintavarmuuteen, ja koko järjestelmän käytettävyyteen. Kunnossapito-ohjelman teknisten valintojen taustalla olevat päätökset tulee olla dokumentoitu, jolla muodostetaan prosessin mittareita. (Gulati 2013, 226.)

Luotettavuuskeskeisellä kunnossapidolla (RCM) tarkoitetaan logiikkaa, joka tunnistaa teknologisesti toteuttamiskelpoiset ja kustannustehokkaat kunnossapitotoimenpiteet, joilla toteutetaan laitteiston luotettavuus pienimmillä mahdollisilla resursseilla koko laitteen elinkaaren ajan. Kunnonvalvonnalla tarkoitetaan laitteen kuntoa ilmaisevan datan ja tietojen käsittelyä ja keräämistä. (SFS-ISO 13372:2013, 12.)

Järjestelmälle suunniteltu operointi alue, kuten myös järjestelmän käyttö, tulee määritellä. Samalle järjestelmälle suoritettu RCM-analyysi eri käyttöympäristöissä voi tuottaa erilaisen lopputuloksen huoltosuunnitelmaan. Ympäristön lämpötilojen ääripäät voivat vaikuttaa esimerkiksi voiteluaineiden valintaan, materiaalien vanhenemiseen, jäähdytyksen tarpeeseen ja akselilinjojen linjausten virheisiin, ja lisäksi polttomoottoreiden toiminta muuttuu korkeus erojen mukaan. Järjestelmää ympäröivän käyttöympäristön (maalla vs. merellä, aavikolla vs. viidakossa, pohjoisessa vs. etelässä, etäisyys tukeutumiseen yms.) tiedot tulee olla tiedossa. (Sifonte & Reyes-Picknell 2017, 76.)

Kun RCM-analyysiä tehdään jo käytössä olevaan järjestelmään, analyysillä ei enää pystytä vaikuttamaan järjestelmän suunnitteluun. Analyysillä voidaan kuitenkin tunnistaa suunnitteluvaiheen aikaisia virheitä, joita voidaan hallita kunnossapidon menetelmillä. Jos kunnossapidolla ei saada haluttuja lopputuloksia, voidaan joutua tekemään elinkaaripäivityksiä. (Sifonte & Reyes-Picknell 2017, 4.)

Kun järjestelmän kriittisyys on niin suuri, ettei sen käyttövarmuuden tai käytettävyyden alenemaa voida hyväksyä, eikä sellaisia ennakoivia kunnossapitotehtäviä voida määrittää, jotka laskevat riskiä, tulee järjestelmään tehdä muutostöitä ja riskienarviointi suorittaa uudestaan. (Eriksen, Bouwer & Lützen 2021, 16.)

Kunnossapitosuunnitelman päivitys on toimintaa, jolla parannetaan kohteen käyttövarmuutta kunnossapitosuunnitelmaa muokkaamalla. Kunnossapito-ohjeistuksen päivityksellä pyritään parantamaan käyttövarmuutta kunnossapitotoimenpiteisiin liittyvän ohjeistuksen muokkaamisella. (PSK 6201:2022, 33.)

3.2 Kohteen valinta ja tiedon kerääminen

Kun tietoa on tarpeen tallentaa turvallisesti, kauan, yksikäsitteisesti ja yhdenmukaisesti, on käytettävä tietokantaa. Tietokannasta tietoa voidaan hakea ja käsitellä joustavasti sekä samanaikaisesti useiden käyttäjien toimesta. Tietokannalle asetettuja vaatimuksia voivat olla joustava rakenteen muuttaminen, tiedonhaku erilaisin perustein, kunkin tiedon tallennus vain yhteen paikkaan. Tietokannan käyttö tulisi olla riippumaton fyysisestä tallennusrakenteesta. Tietokannan etuna on tietojen yhdenmukaisuus, ja tiedon yhdistelyllä saavutettava informaation lisäys. (Kortelainen. Komonen. Laitinen. Valkokari & Hanski 2021, 159.)

Tuotteisiin liittyviä rakenteita voidaan käyttää tuotteen ja kokonaisuuden varustelun ja konfiguraation ohjaukseen, materiaalin logistiikkaan, kirjanpidon tukeen sekä kunnossapidon toteutuksen ja suunnittelun tueksi. Järjestelmävuossa toimiva organisaatio määrittää minkä verran varusteluetteloita ja rakenteita luodaan. Tuoterakenne tarkoittaa tässä toimintatavassa nimike- ja laiterakenteen sekä laitehierarkian kokonaisuutta. (Kosola 2007, 268.)

Nimikerakenne kuvaa järjestelmän pakolliset tai mahdolliset osat nimikkeinä. Laiterakenne kuvaa laitteiston tai järjestelmän kokoonpanon, jolloin sitä käytetään huoltorakenteen laadinnassa. Huoltorakenne kuvaa laitteen tai järjestelmän rakennetta huoltojärjestelmän kannalta. Huoltorakennetta käytetään varaosaluetteloiden, kunnossapidon ohjeiden ja korjaustasoanalyysien laatimiseen. Lisäksi kokonaisuuteen sisältyy laitehierarkia, joka kertoo laitteen alaysiköt ja josta ilmenee laitteiden keskinäinen riippuvuus. Rakenteet perustuvat järjestelmäarkkitehtuuriin ja ne määrittävät mitä osia järjestelmä sisältää, sekä mitkä osat tulee

hallita omana yksikkönä. Ensimmäinen askel on nimikerakenteen luominen, josta voidaan määrittellä laitteiston rakenne ja hierarkia. (Kosola 2007, 269.)

Hierarkiatasot riippuvat kunnossapidon näkökulmasta kohteen monimutkaisuudesta, henkilöstön osaamistasosta, luoksepäästävydestä, testauslaitteistoista ja työturvallisuudesta. Hierarkiataso voi olla esimerkiksi järjestelmä, osajärjestelmä ja komponentti. (ISO13306:2017, 7.)

Laitteen käyttövaiheessa kerättyä tietoa tarvitsevat valmistaja sekä käyttäjät. Valmistajan tuotekehitykselle kentältä saatu häiriö-, vika- ja korjaustieto antavat tärkeää tietoa. Käyttövaiheen luotettavuuteen liittyvää tietoa tulee kerätä SFS-EN 60300-3-2 -standardin mukaan systemaattisesti, ja tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi kunnossapidon suunnitteluun, käyttövarmuuden ennakointiin ja luotettavuusvaatimusten kehittämiseen. (Kortelainen. Komonen. Laitinen. Valkokari & Hanski 2021, 133.)

Tuotettua tietoa voidaan hyödyntää laitteen elinkaaren aikana monin tavoin. Tiedolla johtaminen voi liittyä laitteen rakenteen kehittämiseen, kunnossapitostrategian optimoimiseen, huoltojaksojen määrittelyyn, komponenttien valintaan ja varaosien hallintaan. Hyvä omaisuuden hallinta vaatii hyvin dokumentoitua, luotettavaa ja kattavaa tietoa kaikista laitteista, sekä tietoa laitteiden käytöstä ja kunnossapidosta koko elinkaaren ajalta. Elinjakson kannalta tärkeimpiä tietojärjestelmiä ovat tuotanto-omaisuuden ja toiminnanohjausjärjestelmä. (Kortelainen. Komonen. Laitinen. Valkokari & Hanski 2021, 133.)

3.3 Järjestelmän ja osajärjestelmien määrittäminen ja operointi

Toimintakelpoisuustila on standardin ISO13306 (2017, 7) mukaan tila, jolloin laite pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon, edellyttäen ulkoisia resursseja, kun niitä tarvitaan. Samanlainen laite toimii eri tavalla, jos sitä operoidaan eri tavalla, tai eri olosuhteissa. Tämän takia huolto-ohjelmat voivat poiketa teknisesti samanlaisissa laitteissa, jos niitä operoidaan eri lailla. (Basson & Moubrey 2018, 30.)

Ennen kuin määritetään laitteistolle kunnossapitotehtäviä, tulee määrittää käyttöolosuhteet ja laitteen käyttötapa. Tämä toimii perustana riskienhallinnalle ja kunnossapito-ohjelman

tuottamiseen. Alla esitetyt käyttö- ja olosuhdetiedot tulisi olla tiedossa. (Basson & Moubrey 2018, 30.)

- Prosessi.
- Fyysiset olosuhteet ja käyttöympäristö.
- Laitteen tai palvelun standardit huollolle.
- Ympäristö ja ympäristöluvut.
- Turvallisuus standardit, säännökset ja vaatimukset.
- Työvuorot.
- Redundanttisuus.
- Hyödynnettävyys.
- Työprosessi.
- Varaosalogistiikka.
- Laitteen nykytila.
- Saatavilla olevat taidot ja teknologia.
- Uudelleenkäyttö ja kierrätys.

Kaluston käyttömäärää ja varsinkin tapaa tulee myös seurata huolto-ohjelman kehittämisen rinnalla. Käytön seurannalla voidaan alentaa korjaavan kunnossapidon määrää. Käytön seuranta

voi suorittaa myös digitaalisilla menetelmillä (Renko 2023, 13). Myös Kosolan (2007, 380) mukaan kunnossapitojärjestelmän kyky tuottaa käyttövarmuutta riippuu käyttöprofiiliennusteen laadusta, jonka operatiivinen ala tuottaa. Näin ollen tiedonvaihto täytyy pitää saumattomana operatiivisen ja huollon suunnittelun välillä.

Operointivaiheessa järjestelmästä vastaavan organisaation tehtävä on huolehtia varastoidun, sekä käytössä olevien järjestelmien kierrätys, joka tukee järjestelmän käyttö- ja tehtäväprofiilia. Käyttöä seuraamalla voidaan varmistua järjestelmien käyttökunnosta, ja tasaisesta kulumisesta. (Kosola 2007, 375.)

3.4 Järjestelmän toiminnot ja lohkoavaio

Kunnossapidon tavoite on varmistaa laitteiston toiminta, jotta se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. Tavoitteeksi tulisi asettaa vähintään pienin vaadittu tavoite vaaditulle suorituskyvyille. Toiminto tulisi määrittää niin, että siitä selviää suorituskykyvaatimus. Esimerkiksi pumpun täytyy pumpata vettä tankista A, tankkiin B, 300 gallonia korkeintaan minuutissa. (Basson & Moubrey 2018, 80.)

Jos olisi mahdollista rakentaa laite, joka tuottaa pienimmän vaaditun suorituskyvyn, ilman että laite kuluu käytön aikana, laite voisi käydä aina ilman että siihen tarvitsisi suorittaa kunnossapitoa. Kaikki laitteet, joihin kohdistuu ulkoisia vaikutuksia kuluvat, jolloin tarvitaan toimia, joilla puututaan kulumisen aiheuttajaan. Edellisen kappaleen pumppu voi vikaantua, esimerkiksi siipipyörän kulumisen vuoksi. Tällöin tulee selvittää, kuinka nopeasti siipipyörä kuluu siihen asti, ettei se pysty siirtämään 300 gallonia nestettä minuutissa tankista A, tankkiin B. Laitteistoa suunniteltaessa tuleekin ottaa huomioon se, että laitteisto tulee kulumaan, jolloin laitteiston suorituskyky tulee olla suurempi kuin pienin taso, jota käyttäjä tarvitsee. (Basson & Moubrey 2018, 80.)

Jotta varmistetaan että laite toimii käytössä, se pitää suunnitella siten että siihen on sisäänrakennettu enemmän suorituskykyä kuin on vaadittu, joka mahdollistaa kulumisen aiheuttaman toiminnon alenemisen. Esimerkiksi edellisten kappaleiden pumppu mitoitetaan siten että se pystyy siirtämään 400 gallonia nestettä minuutissa, jolloin kulumisen on otettu huomioon ja vaatimus täyttyy, vaikka pumppu on kulunut. Suorituskykyä voidaankin kuvailla kahdella tavalla,

ensimmäiseksi haluttu suorituskyky, ja toiseksi sisäänrakennettu suorituskyky. Kunnossapidolla voidaan pitää laitteiston kunto alkuperäisessä kunnossa. Kunnossapito ei voi parantaa suorituskykyä, vaan suorituskyky riippuu siitä, kuinka laitteisto on suunniteltu ja kuinka se on valmistettu. (Basson & Moubrey 2018, 80.)

Laitteistot suunnitellaan yleensä siten, että laitteistolle voidaan suunnitella kunnossapito-ohjelma, joka varmistaa, että laite toimii käyttäjän vaatimalla tavalla, eli laitteisto on kunnossapidettävissä. Jos vaadittu suorituskyky ylittää sisäänrakennetun suorituskyvyn, kunnossapidolla ei päästä vaadittuun suorituskykyyn. Tästä johtuen käyttäjän vaatimukset tulee selvittää kunnossapito-ohjelmaa kehitettäessä. (Basson & Moubrey 2018, 81.)

Suorituskykyvaatimuksen tulisi olla määrällisenä, koska määrälliset vaatimukset ovat tarkempia kuin laadulliset vaatimukset. Epätarkkoja määrällisiä vaatimuksia tulisi välttää, jotta vältetään tilanne jossa ei tiedetä milloin laitteisto epäonnistui suorittamaan vaaditun toiminnon. Jos laitteiston käyttäjä ei osaa määrittää vaadittavaa tasoa suorituskyvyille, ei kunnossapitoakaan voida suunnitella siten että se pystyisi pitämään laitteiston vaatimusten mukaisessa kunnossa. (Basson & Moubrey 2018, 82.)

Ensisijaiset toiminnot (primary functions) ovat yleensä syy miksi koko laite on hankittu. Ensisijaiset toiminnot ovat helppo tunnistaa koska laite on nimetty sen toiminnon mukaan, esimerkiksi pakkauskone. Pakkauskoneen ensisijainen toiminto on pakkaaminen. Haasteena onkin toimintojen suorituskykyjen määrittäminen. Yleisesti järjestelmien suorituskykyvaatimukset liittyen toimintoihin sisältävät nopeuden, määrän, varastoinnin ja laadun. (Basson & Moubrey 2018, 88.)

Jos järjestelmä on monimutkainen, tai sen rajapinnat muihin järjestelmiin on huonosti tiedossa, on mahdollista tehdä toiminnallinen lohkokaavio, jotta ymmärretään paremmin järjestelmän toiminta. Toiminnallinen lohkokaavio näyttää kaikki ensisijaiset toiminnot laitoksen eri tasoilla.

3.5 Redundanssi

Kriittisen järjestelmän pettäessä, tulisi sillä olla varajärjestelmä. Redundanssi on tärkeä osa käyttövarmuuden ylläpitämisessä kaikissa monimutkaisissa ja turvallisuuteen liittyvissä järjestelmissä. Laite on redundanttinen, jos se sisältää toisen toiminnon, jonka avulla laite pystyy

suorittamaan vaaditun tehtävän, ja järjestelmä on redundanttinen, jos se sisältää useamman laitteen toimintoa varten. Tämä voi tarkoittaa, että järjestelmässä on useampi laite tekemässä samaa tehtävää, ja yhden vikaantuessa loput pystyvät tekemään vikaantuneenkin laitteen työn, tai järjestelmässä on varalaitte, joka käynnistyy, kun varalaitte vikaantuu. (Downer 2009, 4.)

Redundanssi voi tehdä järjestelmästä luotettavamman, vaikka se olisi rakennettu vähemmän luotettavista komponenteista. Matkan pituus vaikuttaa merijärjestelmien yksittäisten vikojen ilmaantuvuuteen. Yhden päivän matkan aikana kahdennettu järjestelmä on sata prosenttia vähemmän vikaantuva kuin yhteen komponenttiin tukeutuva järjestelmä. Jos järjestelmä vikaantuu siten että vika vaikuttaa molempiin alijärjestelmiin, luotettavuus laskee. (Eriksen & Lützen 2022, 14.)

Redundanssin mukana tulee myös joitakin ongelmia. Laitteiden määrän kasvaessa kunnossapidon tarve ja kustannukset nousevat, ja järjestelmä muuttuu monimutkaisemmaksi, joka lisää toimintojen määrää. Tämä lisää vikaantumisen todennäköisyyttä ja vähentää järjestelmän luotettavuutta. (Eriksen & Lützen 2022, 18.)

3.6 Vikaantumistavat ja vaikutukset

Prosessidatasta saadulla tiedolla voidaan ennustaa yksittäisen järjestelmän tai laitteen mahdollista vikaantumista ja käyttäytymistä, kun tilastollisesta datasta saatu tieto voi ennustaa koko laite populaation käyttäytymistä mutta ei yksittäisen järjestelmän vikaantumista. (Kortelainen. Komonen. Laitinen. Valkokari & Hanski 2021, 171.)

Vikaantuminen tarkoittaa tapahtumaa, josta aiheutuu toiminnallinen vika. Vikaantuminen voi tapahtua järjestelmälle, osajärjestelmälle tai kunnossapidettävälle komponentille. Vikaantuminen voi olla ulkoisten elementtien aiheuttama tai sisäisesti. RCM-analyysin yksi haastavimmista tehtävistä on tunnistaa vikaantumistavat, jotta niihin voidaan vaikuttaa ennakoivasti. Vikaantumiseen johtavat syyt tulisi olla huomioitu RCM-analyysissä. Syyt ovat yleensä olosuhteissa, ja laukaisevissa tapahtumissa, jotka johtavat vikaantumiseen. (Sifonte & Reyes-Picknell 2017, 104.)

Vikaantumiset voivat tapahtua vanhentumalla, tarkoittaen normaalia kulumista, kun laitteisto on operatiivisessa käytössä. Normaali kuluminen voi olla ruostumista, väsymistä, eroosiota ja hankauksesta johtuvaa kulumista joka lopulta aiheuttaa aleneman laitteistolle määrätuille suorituskyvyille. Laitteiston ulkoiset tekijät kuten lika, pöly tai vesi voivat aiheuttaa laitteistolle häiriön suorittaa vaadittua tehtävää. Inhimilliset virheet voivat myös johtaa tilanteeseen, jossa laitteisto ei enää kykene suorittamaan vaadittua tehtävää. Inhimillisistä virheistä johtuvat häiriöt ovat sattumanvaraisia, jotka voivat johtua koulutustasosta, vuoronvaihdosta ja muista häiriöistä työnteossa.

Teollisuuden kohteissa kerätystä datasta voidaan havaita tapahtumaryppäitä kertymäkuvaajassa. Jos kirjaaminen olisi riittävän yksityiskohtaista ja käytettäisiin kertymäkuvaajaa hyväksi systemaattisesti, voitaisiin saada selville usein toistuvat viat ja muita tapahtumia, kuten kunnossapidon toimenpiteet. Tällä tavalla korjaava kunnossapito voitaisiin ohjata tarkemmin todellisen ongelman tai vian korjaamiseen ja laadun kehittämiseen kunnossapidon osalta. Syitä vikakertymille voivat olla:

- Vian seurauksien korjaus, jolloin vika toistuu.
- Väliaikainen korjaus, jolla kone saadaan nopeasti toimintakuntoon.
- Puutteellinen kunnossapito.
- Järjestelmän intensiivisempi tarkkailu hetkellisesti.
- Järjestelmän käyttöönoton jälkeinen "lastentautijakso".

(Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 117.)

Kerätyllä vikatilastoinnin analysoinnilla pystytään osoittamaan yksittäisten vikamuotojen esiintymistaajuuksia. Kerätty historiatieto harvoin kattaa jokaista vikamuotoa, tai kunnossapitotapahtumia on niin vähän, että vikamuotojen kriittisyyttä arvioitaessa tarvitaan myös asiantuntijan arvioita kerätyn datan lisäksi. Laadukkaat kirjaukset mahdollistavat luotettavat

tulokset ja helpottavat tiedon käsittelyä. Vikakirjaukset voivat olla usein hyvin vapaassa muodossa, eikä luokittelua position, vian tai laitehierarkian tasolla ole tehty oikein. Hiljaisen tiedon liittäminen ja tehostaminen kerättyyn tietoon on kannattavaa ja sen voi toteuttaa käytännönläheisellä tavalla, sovelluskohtaisesti. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 154.)

Vikakertymäkuvaaja on työväline, jolla voidaan analysoida pitkältä aikaväliltä kerättyä tietoa. Graafisessa muodossa esitetty vikakertymäkuvaaja voi näyttää trendin tai trendittömyyden. Trendi voi osoittaa vikataajuuden pienenemisen tai vikataajuuden kasvamisen ajan funktiona. Järjestelmän vikataajuus pysyy vakiona, jos trendiä ei havaita. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 152.)



Kuvio 11. Vikakertymäkuvaaja. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 153)

Vikakertymäkuvaajan lisäksi voidaan tehdä kunnossapitotapahtumien kertymäkuvaaja joka huomioi kaikki kunnossapidon aiheuttamat seisokit järjestelmälle. Yksityiskohtaisilla vikailmoituksilla ja käyttämällä kertymäkuvaajia voidaan saada esiin useasti toistuvat tapahtumat ja viat. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 153.)

Ikään perustuva vikaantuminen

Jos halutaan suunnitella huolto tai komponentin vaihto MTBF -arvon perusteella, puolet populaatiosta vikaantuvat ennen kuin arvo saavutetaan. Jos halutaan ennakoida useimmat vikaantumiset, täytyy tarkastella komponentin hyödyllistä elinjaksoa. Hyödyllinen elinjakso on lyhyempi kuin MTBF. MTBF arvolla onkin vain vähän tai ei yhtään arvoa määriteltäessä jaksotetun kunnossapidon tai jaksotetun vaihdon tehtävien aikavälejä, joiden vikaantuminen perustuu vanhenemiseen. Kohta, jossa vikaantumisen todennäköisyys nousee nopeasti on tärkeä huomioida määriteltäessä ennakoivia toimenpiteitä. (Basson & Moubrey 2018, 409.)

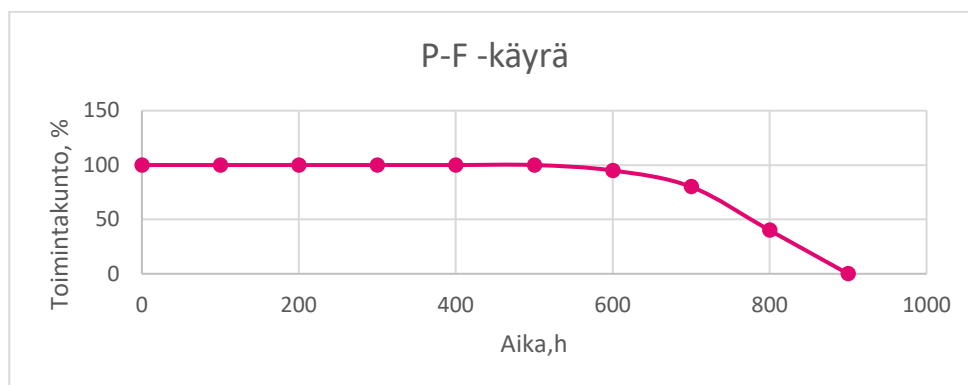
Satunnainen vikaantuminen

Satunnaiset vikaantumiset eivät ole riippuvaisia operoinnin keston ja luotettavuuden suhteesta. Jos järjestelmässä ei ole mitään ikääntymisestä johtuvaa vikaantumista, ei huoltovälin määrityksellä pystytä vähentämään vikaantumisen todennäköisyyttä. Jaksotetut kunnossapitotehtävät voivat myös lisätä vikaantumisen todennäköisyyttä, kun järjestelmää aletaan kunnossapitotöiden jälkeen käyttämään. (Basson & Moubrey 2018, 273.)

Potentiaalinen vikaantuminen

P-F (Point-Failure) -käyrä kuvaa aikaa mahdollisen vikaantumisen ilmenemisestä siihen pisteeseen, missä toiminnallinen vikaantuminen tapahtuu. P-F -jakso kertoo kuinka usein kunnonvalvontaa tulisi suorittaa. Kun halutaan havaita mahdollinen vikaantuminen ennen kuin siitä muodostuu toiminnallinen vikaantuminen, tarkastusten väli täytyy olla lyhyempi kuin P-F -jakso, yleisesti sopivimmaksi tarkastusväliksi on suositeltu tarkastusväliä, joka on puolet P-F -jaksosta, mutta on huomioitava että jaksoissa on merkittäviä vaihteluita. Tätä väliä voidaan mitata käyntiaikana ja käynnistyksinä. (Basson & Moubrey 2018, 274.)

Alla olevassa kuviossa kaksitoista esitetään alkanut vikaantuminen, joka voidaan havaita 600 käyntitunnin kohdalla, ja vikaantuminen kehittyy toiminnalliseksi vikaantumiseksi 900 käyntitunnin kohdalla. Näiden välinen aika on P-F -jakso. Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla voidaan havaita mahdollisia vikaantumisia jakson aikana.



Kuvio 12. P-F -käyrä. (Basson & Moubrey 2018, 275.)

3.7 Vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysi (Failure and Mode Effect Analysis, FMEA) tuottaa vastauksen RCM-analyysin kysymykseen: mikä toiminnallisen vian aiheuttaa? Vika- ja vaikutusanalyysi määrittää toiminnallisten vikojen aiheuttavat vikamuodot ja niiden vaikutukset. Menetelmää voidaan laajentaa koskemaan kriittisyyttä (Fault modes, Effect and Criticality Analysis, FMECA). (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 113.)

Vika- ja vaikutusanalyysiin hankittava tieto tulisi olla myös ennakoivaa. Sen lisäksi että tunnistetaan mitä on tapahtunut aiemmin, tulisi tunnistaa se mitä voi tapahtua tulevaisuudessa. Yleisimmät tiedon lähteet ovat valmistaja, kolmannen osapuolen tekemät listaukset vikaantumisista, muiden vastaavan laitteiston käyttäjien tiedot, sekä laitteiston käyttäjät ja kunnossapitäjät. (Basson & Moubrey 2018, 158.)

Vikaantuminen voidaan määritellä tilanteeksi, jossa laite menettää kyvyn suorittaa vaadittua toimintoa. Vikaantuminen voidaan jakaa toiminnalliseen vikaantumiseen (failed state), sekä vikatilaan, joka on tapahtuma, tai olosuhde, joka aiheuttaa vikaantumisen. Vikaantumisen mekanismi on tapahtuma, joka johtaa vikaantumiseen. Monet erilaiset vikaantumisen mekanismit voivat johtaa toiminnalliseen vikaantumiseen. Tapahtumien kuvauksessa tulisi olla tarvittava määrä yksityiskohtaista tietoa vikaantumisesta, jotta voidaan valita sopiva riskienhallinta strategia, mutta ei kuitenkaan niin paljon tietoa, että aikaa kuluu liikaa itse analyysin tekemiseen. (Basson & Moubrey 2018, 116–117.)

Kun halutaan kohdistaa ennakoivaa kunnossapitoa laitteistolle, täytyy yrittää tunnistaa kaikki vikaantumisen syyt ja mekanismit, jotka voivat vaikuttaa laitteistoon. Ideaalilanteessa ne pitäisi tunnistaa, ennen kun vikaantuminen tapahtuu, mutta ainakin ennen seuraavaa vikaantumista. Kun jokaisen vikaantumisen syy on tunnistettu, voidaan tutkia mitä laitteistolle tapahtuu vikaantuessaan, arvioidaan seuraamukset ja riskit, sekä päätetään mitä voidaan tehdä ennakoivasti, jotta estetään tapahtuma. Kunnossapidon tehtävien valinnalla puututaan tapahtumaan, joka aiheuttaa vikaantumisen. (Basson & Moubrey 2018, 119.)

Vikaantumisen muodot voidaan jakaa kolmeen ryhmään, kun laitteiston toiminta laskee alle vaaditun suorituskyvyn, kun vaadittu suorituskyky nousee yli laitteen kapasiteetin ja kun laite ei kykene suorittamaan tehtävää ollenkaan. Laitteen suorituskyvyn lasku johtuu viidestä vikaantumisen mekanismista:

- Vanheneminen, jossa laite ei enää tuota vaadittua suorituskykyä.
- Voitelun virheet, joka johtuu voiteluaineen puutteesta tai laadusta.
- Lika ja kontaminaatio, joka aiheuttaa tukkeutumista ja kitkaa.
- Osien irtoaminen, joka voi aiheutua hitsausten pettämisestä, tai kiinnitysten irtoamisesta.
- Inhimillinen virhe, josta aiheutuu väärä laitteen käyttötapa.

(Basson & Moubrey 2018, 125.)

Laitteiston toiminta laskee alle vaaditun suorituskyvyn, kun laitteen käyttöönoton jälkeen halutaan nostaa sen suorituskykyä. Tästä voi seurata Bassonin ja muiden (2018, 126) mukaan seuraavanlaisia vikaantumisia:

- Vaadittu suorituskyky nousee siihen asti, ettei laite pysty suorittamaan sitä.

- Laitetta kuormitetaan niin paljon, että sen luotettavuus laskee, ja muuttuu hyödyttömäksi.

Esimerkiksi, jos polttomoottorin suunniteltu korkein kierrosluku on 6000 rpm, ja sitä ajetaan 7000 rpm, moottori kuluu nopeammin ja moottori muuttuu epäluotettavaksi.

Bassonin ja muiden (2018, 127) mukaan näissä tapauksissa kunnossapidon tehtävien lisääminen ei ratkaise ongelmaa. Ratkaisu on muuttaa laitteistoa siten, että se pystyy vastaamaan kasvaneeseen suorituskykyvaatimukseen, tai operoida laitetta pienemmillä vaatimuksilla, jotka laite pystyy jo tuottamaan. Jotta laitteisto olisi kunnossapidettävissä, sen vaadittu suorituskyky tulee olla laitteen sisäänrakennetun suorituskyvyn tasolla. Jos laite on suunniteltu niin ettei osa sen komponenteista kestä vaadittua suorituskykyä, tulee komponentit tunnistaa ja listata ne vioiksi vika- ja vaikutusanalyysiin.

Bassonin ja muiden (2018, 134) mukaan vikamuotojen syyt ja mekanismit voidaan määrittää melkein mille tahansa tasolle järjestelmässä, mutta eri tasot ovat sopivampia kuin toiset järjestelmästä riippuen. Joskus määritelmäksi riittää, että toiminnallinen vika kuvataan yhdellä lauseella, kuten ”moottori vikaantui”. Toisaalta, joissakin järjestelmissä täytyy mennä osien tasolle ja löytää juurisyy vikaantumiselle.

Kunnossapitohistorian kirjattuja tietoja tarvitaan myös juurisyyanalyysissä (RCA, Root Cause Analysis). Standardin PSK 6201 (2022, 18) mukaan juurisyy on käynnistävä heräte prosessin toimintakelvottomuustilaan. Juurisyyyn taustalla voi olla inhimilliset tekijät tai komponentissa oleva vika. Juurisyyyn määrittäminen tulisi tehdä sille tasolle, jossa siihen voidaan vielä vaikuttaa. Esimerkiksi merimoottorin ylikuumeneminen: moottori kuumenee, jäähdytysneste ei jäähdy, merivesi ei kierrä, merivesi ei pääse poistumaan järjestelmästä, venttiili asennettu väärin merivesijärjestelmässä. Juurisyytä voi vieläkin lähteä etsimään syvemmillä, mutta voidaan päätyä vastaukseen ”asentaja oli väsynyt”.

Järjestelmän toiminnon hahmottamiseksi tarvitaan paljon tietoa useista lähteistä. Toiminnon kuvauksen tulisi sisältää seuraavia asioita:

- Toiminnon kuvaus tulee kirjoittaa järjestelmän prosessin loogiseen etenemiseen.

- Listaus järjestelmän pääkomponenteista. (Tankit, pumput, keskukset.)
- Järjestelmän suorituskyky. (Manuaalit, laitekortit.)
- Redundanttisuus tai varajärjestelmät.
- Pysäyttävien ja hälyttävien antureiden toiminta.
- Ohjausjärjestelmien kuvaus. (Paine, virtaus.)
- Muiden sensorien kuvaus, jotka liittyvät järjestelmään. (Pinnan mittaus, mittarit.)
- Määritetään käytetäänkö järjestelmää automaattisesti vai käsiohjauksella.
- Määritetään järjestelmän poikkeukselliset materiaalit.
- Määritetään operointi olosuhteet.
- Sisällytetään turvallisuuteen liittyvät ohjeet ja määräykset.

(Basson & Moubrey 2018, 74.)

Vikapuuanalyysiä (FTA, Fault Tree Analysis) voidaan käyttää tunnistamaan ei- toivottuja tapahtumia, ja tutkia niihin johtavia tapahtumaketjuja. Vikapuuanalyysin kautta saadaan hyvin selville tarkastellun laitteen kriittisimmät komponentit. Vikapuuanalyysin avulla selviää myös, miten laite tai järjestelmä on kahdennettu sähkönsyötön kautta tai mekaanisesti.

3.8 Kunnossapitotehtävät

Kun määritetään kunnossapidon ennakoivia tehtäviä, jotka ovat teknisesti mahdollisia, tulee miettiä voiko kunnossapidon tehtävillä estää tai ennakoida tunnistettu vikaantumisen. Teknisestä näkökulmasta kaksi asiaa ovat määrittäviä ennakoivien tehtävien valinnassa, laitteen ikäänntyminen

ja vikaantumisen todennäköisyys, sekä mitä tapahtuu, kun vikaantuminen alkaa. Vikaantumisen todennäköisyys kasvaa laitteiston ikääntymisen myötä. (Basson & Moubrey 2018, 255).

Sifonten ja muiden (2017, 136) mukaan valittujen tehtävien tulee olla vikaantumisen syyhyn kohdistettuja, ja pitää olla perusteltuja kustannusten ja riskien vähentämisen kanssa. Tämä tarkoittaa, että valitun tehtävän tulee puuttua itse vikaantumisen syyhyn, sekä tehtävän tulee vähentää riskejä ja kustannuksia vaaditulle tasolle. Jaksotetun kunnossapidon kustannukset tulee olla pienemmät kuin vikaantumisesta aiheutuva korjaustyö ja muut vikaantumiseen liittyvät kustannukset. Vikaantumisesta aiheutuvat kustannukset ovat Sifonten ja muiden (2017, 140) mukaan yleensä suuremmat kuin korjauksen, vaihdon ja komponentin kunnostuksen kustannukset.

Jaksotettuja kunnossapitotehtäviä suoritetaan ennalta määritetyin huoltovälein, estäen ikääntymisestä johtuvia vikaantumisia. Jotkin vikaantumisen muodot, jotka liittyvät ikääntymiseen, ovat mahdottomia kunnostaa alkuperäisen suorituskyvyn mukaiseksi, kun komponentti on saavuttanut elinkaaren lopun. Tässä tapauksessa alkuperäinen suorituskyky voidaan saavuttaa vain vaihtamalla komponentti uuteen. Muissa tapauksissa jaksotettu kunnossapito voisi olla mahdollista, mutta voi olla kustannustehokkaampaa vaihtaa komponentti uuteen kuin korjata se. Kaikissa tapauksissa, joissa komponentti vaihdetaan kiintein väliajoin, ilman että yritetään arvioida komponentin kuntoa, on tehtäväksi määritetty jaksotettu vaihto. (Basson & Moubrey 2018, 262.)

Jaksotetun kunnossapidon väli saadaan määritettyä vain luotettavan historiatiedon avulla. Tätä tietoa ei ole saatavilla kun laitteisto otetaan käyttöön, joten jaksotetun kunnossapidon määrittäminen on hankalaa, kun luodaan ennalta kunnossapito- ohjelmaa. RCM-analyysi tunnistaa kaksi erilaista elinkaaren rajaa. Ensimmäisenä turvallinen elinkaaren raja, jota käytetään laitteisiin jotka voivat aiheuttaa turvallisuusriskin. Toisena elinkaaren loppuna on taloudellisen elinkaaren raja, joihin ei liity turvallisuusriskejä. (Basson & Moubrey 2018, 265.)

Jaksotettu kunnossapito on mahdollista, jos pystytään määrittämään ikä jolloin laitteiston vikaantumisen mahdollisuus kasvaa, kunnossapidolla saavutetaan alkuperäinen suorituskyky ja suurin osa laitteiston osista selviää vaadittuun ikään asti (Basson & Moubrey 2018, 266).

Jaksotetussa vaihdossa ei tarvitse arvioida kunnossapidolla saavutettua alkuperäistä suorituskykyä koska komponentti on uusi.

Kunnossapitotehtävien välien määrittelyssä ei tule käyttää MTBF- tai MTTF -arvoja. Nämä arvot ovat käytännöllisiä, kun tarkastellaan käyttövarmuutta ja suorituskykyä. Kunnossapito-ohjelmat eivät siis voi perustua laitteen MTBF -arvoon, muuten kuin kunnonvalvonnalla suoritettuihin vian etsintään. Myöskään laitteen kriittisyys ei vaikuta siihen, kuinka usein laitetta tulisi huoltaa. (Basson & Moubrey 2018, 52.) Sifonten ja muiden (2017, 157) mukaan monet vikaantumiset antavat varoituksia ennen kuin vikaantuminen tapahtuu, riippumatta siitä aiheutuvatko ne satunnaisesti, ikääntymisestä, tai käytöstä johtuen. Kun vikaantumismekanismi saa alkunsa, se johtaa vikaantumiseen. Kuntoon perustuva kunnossapito voi havaita näitä aikaisia varoituksia.

Bassonin ja muiden (2018, 269) mukaan monet vikaantumiset johtuvat kuormituksen kasvusta, joka johtuu väärästä käytöstä, väärästä asennustavasta tai ulkoisesta vahingosta. Näillä vikaantumisilla ei ole yhteyttä laitteen käyttötunteihin, eikä laitteen vikaantumisen todennäköisyyteen. Vähentynyt vikaantumisen sieto tekee komponentista haavoittuvaisemman seuraavaa kuormittavaa tapahtumaa varten, joka voi tapahtua ennen komponentin jaksotettua huoltoa. Näissä tapauksissa vikaantumisen estäminen tapahtuu varmistamalla oikeanlainen asennustapa ja kunnossapito, sekä varaosien oikeanlainen varastointitapa. Myös Sifonten ja muiden (2017,140) mukaan kun laitetta kuormitetaan liikaa, laite kuluu nopeammin. Esimerkiksi jos järjestelmää käynnistetään ja pysäytetään jatkuvasti, eikä käytetä tasaisella kuormalla.

Mitä monimutkaisemmaksi järjestelmä on rakennettu, sitä enemmän se sisältää mahdollisesti vikaantuvia komponentteja, sekä lisää komponenttien välisiä rajapintoja. Tämä lisää vikaantumisten ja vikaantumistapojen määrää. Monimutkainen järjestelmä vikaantuu todennäköisemmin satunnaisemmin verrattuna yksinkertaisempaan järjestelmään. (Basson & Moubrey 2018, 273.)

Sifonten ja muiden (2017, 137) mukaan uuden komponentin asentamisella saavutetaan komponentilta vaadittu alkuperäinen suorituskyky. Korjaamalla ei saavuteta yhtä hyvää lopputulosta, mutta korjaus on yleensä halvempi vaihtoehto. Joissakin tilanteissa korjaamalla voidaan parantaa komponenttia paremmaksi kuin uusi varaosa, esimerkiksi uudelleen

pinnoittamalla, joka parantaa komponentin kykyä vastustaa kulumista. Näihin voidaan vaikuttaa parantavalla kunnossapidolla.

Sifonten ja muiden (2017, 140) mukaan ennakoiva kunnossapito tarvitsee toimiakseen jonkinlaisen tiedon alkaneesta vikaantumisesta. Ennakoivalla kunnossapidolla ei voida estää vikaantumista, vaan vikaantuminen on jo alkanut. Ennakoivalla kunnossapidolla yritetään selvittää milloin järjestelmä ei pysty enää suorittamaan vaadittua toimintoa. Sifonten mukaan kuntoon perustuva kunnossapito voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen, kunnonvalvontaan ja korjaaviin tehtäviin, jotka voidaan tehdä haluttuna ajankohtana ennen kun järjestelmä menettää kykynsä suorittaa vaadittu toiminto, joka aiheuttaa mahdollisia lisäkustannuksia.

Sifonten ja muiden (2017, 137) mukaan on mahdollista ennustaa vikaantuminen tilastollista vikatietoa käyttäen. Esimerkiksi Weibull analyysillä voidaan ennustaa mahdollinen vikaantuminen tiettyyn ajankohtaan. Kunnonvalvonnalta tulisi tulla tieto nopeasti havaitusta poikkeamasta, jotta alkaneeseen vikaantumiseen voidaan puuttua, joten sopivien kunnonvalvonnan tehtävien ja välien tulisi olla oikein mitoitettu järjestelmälle.

3.9 Kunnossapito-ohjelman kehittäminen

Standardin ISO 13306 (2017, 5) mukaan kunnossapito suunnitelma on joukko dokumentoituja työtehtäviä, josta selviää kunnossapidossa tarvittavat toimenpiteet, resurssit, menetelmät ja aikataulut.

Kaiken kerätyn tiedon muuttaminen matemaattiseksi ei ole usein välttämätöntä tai edes tarkoituksenmukaista. Tietokantaan syötetyt vikakirjaukset voivat olla hyvinkin laadultaan poikkeavia ja sisältävät eri tietoja. Laadukkaat vikakirjaukset järjestelmähierarkian mukaan helpottavat tiedon hakua ja analysointia, sekä osaltaan mahdollistaa luotettavien tulosten saamisen. Käyttäjien hiljaisen tiedon liittäminen tarkasteluun vikaantumisen historiatiedon, asiantuntijalausuntojen ja mittaustiedon lisäksi kannattaa tehdä tiedon laadun parantamiseksi. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 154.)

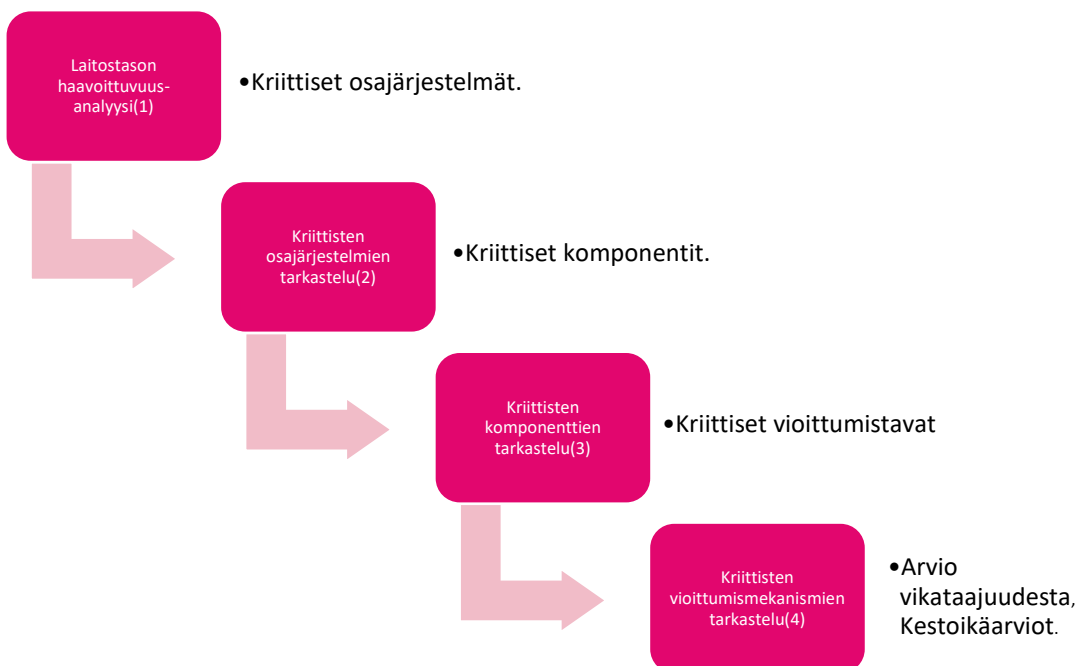
Aikaisemmin analysoidun vastaavanlaisen järjestelmän aikaisemmat kokemukset voivat myös toimia lähtökohtana, kun suunnitellaan uutta huolto-ohjelmaa uudelle järjestelmälle. Tämän

lisäksi tulee kerätä kyseisen järjestelmän käyttökokemuksia ja havaintoja. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 154.)

4 Kriittisyysanalyysi

Kriittisyydellä tarkoitetaan ominaisuutta, jolla kuvataan kohteeseen liittyvää riskiä, sekä riskin suuruutta. Jos kohteeseen liittyy riski henkilöiden loukkaantumiseen, merkittäviin aineellisiin vahinkoihin, tuotannon menetykseen tai muihin seurauksiin, jotka eivät ole hyväksyttäviä, on kohde silloin kriittinen, eikä riski ole hyväksyttävällä tasolla. (PSK 6800:2008, 2.)

Kriittisyysanalyysi on nopea keino tunnistaa laitteiston merkittävimmät osat ja määrittää keskeiset riskit. Kriittisyysanalyysillä voidaan luoda ymmärrystä organisaation eri tasojen välille laitteiston merkittävistä kohteista. Kriittisyysanalyysi suoritetaan asiantuntijoiden ryhmätyöskentelynä, ja analyysin tuloksen perusteella voidaan luoda käsitystä merkityksellisistä seurausvaikutuksista järjestelmän komponenttien osalta. Analyysin lopputulosta voidaan hyödyntää pikaisissa huollon ja luotettavuuden parannetussa suunnittelussa, sekä pitkän aikavälin korjausinvestointien ajoittamisessa. Kuviossa kolmetoista on esitetty periaatekaavio käyttövarmuusanalyysille, jota voidaan käyttää paljastamaan kriittisiä komponentteja. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 112.)



Kuvio13. Periaatekaavio hierarkiselle käyttövarmuusanalyysille. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 112.)

Standardin PSK 6800 (2008, 3) mukaan laitteiden kriittisyysluokittelu menetelmää käytetään lähtötiedon tuottamiseen uutta kunnossapitosuunnitelmaa varten. Menetelmää voi käyttää myös esimerkiksi hankintavaiheessa laitteiden laatutasoa, ominaisuuksia ja vastaanottokriteerejä määriteltäessä. Kortelaisen ja muiden (2021, 139) mukaan kun laitteen kriittisyys on vähäinen, voidaan päättää, että laitteen annetaan vikaantua ennen suunniteltua korjausta. Kriittisen laitteen vikaantumiseen sen sijaan halutaan varautua aikaisin, jotta on mahdollista päättää ajankohta korjaus- ja huoltotoimenpiteille.

Vikamuotojen esiintymistaajuuksia voidaan selvittää analysoimalla tietokannasta kerättyjä vikatilastoja. Tietokannasta saatava historiatieto voi kuitenkin olla puutteellista tai vikatapahtumia on vain vähän. Tästä syystä vikamuotojen kriittisyyden arviointi pelkän historiatiedon varassa on hankalaa, joten asiantuntija-arvioita voidaan käyttää tukena, kun suoritetaan kriittisyyden arviointia. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 154.)

Tietojärjestelmien rinnalla voi hyödyntää tietolähteenä myös käyttäjiä, joiden tietämys muodostaa nopeimman keinon tuottaa yleiskuva laitteiston kehitystarpeista ja käyttövarmuudesta.

Asiantuntijan tietämys voi olla myös ainoa tiedon lähde, jos vikaantuminen on harvinainen ja tapahtumia on vähän. Asiantuntijoiden käyttämiseen liittyy myös virhelähteitä, koska eri ihmisillä on eri tulkintoja, havaintoja ja painotusarvoja. Työpajojen avulla voidaan saada käyttöön asiantuntijoiden kokemusperäinen tieto. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 137.)

Työpajoissa käytettävillä visualisoiduilla työpohjilla on myös paikkansa hiljaisen tiedon keräämisessä. Laadullinen menetelmä valitaan riskien tai luotettavuuden arviointiin, jos vikatiieto ei ole kattavaa. Laadullisia menetelmiä käytetään asiantuntijaryhmältä kerättyyn tietoon kohteen vikaantumisista, vikamuodoista, kunnossapidettävyydestä ja käytettävyydestä. Analyyseissä arvioidaan myös kriittisyyttä mahdollisesti tunnistetuista vikamuodoista. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 137.)

5 Menetelmät ja kuljetusveneiden kunnossapidon nykytilanne

5.1 Tutkimusmenetelmän valinta

Tämän opinnäytetyön menetelmäksi valittu toimintatutkimus soveltui työkäytänteiden sekä menetelmien kehittämistyöhön, koska valitulla menetelmällä pyrittiin kehittämään uudenlaista toimintaa, sekä lisäämään tietämystä aiheesta. Toimintatutkimuksessa on syytä muistaa, että muutosta ei välttämättä tapahdu, ja muutos voi olla aivan toisenlainen kuin prosessin alussa on luultu. Kyseessä on kuitenkin tutkimus, jossa tuotetaan kerätystä aineistosta uutta tutkimuksellista tietoa, vaikka muutokset eivät välttämättä toteudu. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2014, 59.)

Tutkimuksessa käytettiin myös laadullisia menetelmiä, joita olivat haastattelu ja osallistuva havainnointi. Laadulliset menetelmät soveltuivat aiheiden tutkimiseen, joita haluttiin ymmärtää paremmin. Tarkoituksena oli hankkia aiheesta paljon tietoa ja ymmärtää ilmiötä kokonaisvaltaisesti. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2014, 105.)

Tutkimuksellinen kehittämistyö saa alkunsa esimerkiksi organisaation halusta saada aikaan muutoksia, tai organisaatiolla on kehittämistarpeita. Tutkimukselliseen kehittämistyöhön kuuluukin usein käytännön ongelmien ratkaisuja, sekä uusien käytäntöjen toteutusta. Kehittämistyön tarkoituksena on kehittää, käyttöönottaa, sekä etsiä asioille parempia vaihtoehtoja. Tutkimuksellisessa kehittämisessä keskeistä on myös uuden käytännön tiedon ja tekstin tuottaminen, vaikka pääpaino onkin kehittämistehtävän saavuttamisessa. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2014, 19.)

Työelämän hiljaista tietoa dokumentoimalla voidaan luoda uutta ammatillista tietoa, jolla voidaan parantaa työelämän tietoperustaa. Kehittämistyössä korostuu toteutettavuuden varmistaminen tutkimuksen keinoin, sekä suunnittelu ja suunnitelman mukainen eteneminen. Kehittämistyö alkaakin ideoinnista, ja päättyy ratkaisuun ja ratkaisun arviointiin. Kehittämistyössä keskeistä on muokata, soveltaa ja luoda ratkaisuja tarpeeseen, sekä tarjota ratkaisuja ongelmiin. (Ojasalo, Moilanen, & Ritalahti 2014, 20.)

Järjestelmien käyttäjiä hyödynnetään tietojärjestelmien lisäksi, jotta saadaan hyvä yleiskuva järjestelmästä. Käyttäjien ja muiden asiantuntijoiden tuoma tieto voi myös olla ainoa tieto, jos

tietojärjestelmässä on vain vähän havaintoja, tai tapahtuma on harvinainen. Asiantuntijoiden tuottamiin arvioihin tulee kiinnittää huomiota, koska niihin voi myös liittyä epävarmuuksia, jotka johtuvat omista tulkinnoista. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 137.)

Työpajojen avulla asiantuntijoilta voidaan saada myös heidän kokemuseräistä hiljaista tietoa. Työpajoissa jäsenet tuottavat enemmän tietoa ja uusia näkökulmia verrattuna siihen, että jäsenet antaisivat vastaukset yksittäin. Laadullinen menetelmä sopii työpajoissa riskien ja luotettavuuden arviointeihin, jos kattavaa tilastoa vikaantumisesta ei ole saatavilla. RCM-analyysi on laadullinen menetelmä, jossa kerätään asiantuntijoilta tietoa vikaantumisista, kunnossapidettävyydestä ja vikamuodoista. Laadullinen, eli kvalitatiivinen menetelmä sopii riskien arviointiin, kun kohteesta ei ole muodostunut riittävän kattavaa tilastoa vikaantumisesta. (Kortelainen, Komonen, Laitinen, Valkokari & Hanski 2021, 137.)

Toimintatutkimus valikoitui tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi, koska tarkoituksena oli kehittää kunnossapidon toimintaa. Tarkoituksena oli tuottaa kehittämisideoita ja ratkaisuehdotus. Samalla luotiin uutta tietoa ja ymmärrystä aiheesta. Tästä luvusta eteenpäin käsitellään varsinaista työn toteutusta.

5.2 Tiedon kerääminen

Tutkimuksen aikana haastateltiin Merivoimien henkilöstöä kunnossapidon eri tasoilta. Tutkimuksessa käsiteltiin myös SAP-toiminnanohjausjärjestelmän järjestelmähierarkiaa kuljetusveneiden osalta, ja analysoitiin SAP-järjestelmään kirjattuja vikailmoituksia.

Osallistuvaa havainnointia suoritettiin osallistumalla RCM-kurssille toukokuussa 2023 kolmena päivänä. Kurssin harjoituksia ja tehtäviä tekemällä päästiin kiinni RCM-projektin vaiheisiin, sekä projektinhallintaan. Projektin alkuvaiheessa opinnäytetyön tekijä tutustui kuljetusveneisiin käyttäjien kanssa, jotta saatiin parempi käsitys kuinka järjestelmät toimivat eri olosuhteissa. Työn edetessä kentältä hankittiin tietoa ja havaintoja alusjärjestelmien nykytilasta.

RCM-työryhmä perustui kokeneisiin henkilöihin, joilla oli kokemusta kuljetusveneiden kunnossapidosta, sekä RCM-analyysin suorittamisesta. Projektin alussa määriteltiin henkilöt, jotka osallistuvat työpajoihin projektin eri vaiheissa. Tämän opinnäytetyön tekijä toimi

järjestelmävastuulliseen rinnastettavassa tehtävässä ja veti projektia muun osallistuvan henkilöstön, sekä omaan tietoon pohjautuen.

Käyttö- ja huoltohenkilöstön haastattelulla luotiin pohjatietoa analyysin tuottamiselle SAP-järjestelmästä saadun tiedon lisäksi. Haastattelu suoritettiin tapaamisena, jossa läsnä oli useampi haastateltava kerrallaan, jotta saatiin herätettyä keskustelua aiheesta. Haastattelun kysymykset olivat:

- Mitkä ovat kuljetusveneiden eniten vikaantuvat järjestelmät?
- Mikä järjestelmässä vikaantuu?
- Mikä vaikutus vikaantumisella on järjestelmän toimintaan?
- Millä tavalla käyttäjä pystyy käytön aikana havaitsemaan vian?
- Onko järjestelmä/laite kahdennettu, tai voidaanko järjestelmän käyttöä jatkaa muulla tavoin?

Haastattelut suoritettiin kuljetusveneitä käyttävässä yksikössä. Haastatteluihin osallistui kolme päällikköä, kaksi konepäällikköä ja kaksi asentajaa. Haastateltavat valittiin kokemuksen perusteella, sekä siitä syystä, että vaikka kyseinen kuljetusvene on kaupallinen tuote, sitä ei käytä tällä hetkellä muut kuin kyseinen yksikkö. Haastatteluiden jälkeisessä analysoinnissa löydettiin kuusi vikaantumista, jotka tukevat SAP-järjestelmän vikatietoja. Haastatteluissa selvisi, että eniten vikaantuvat kohteet eivät kuitenkaan vaikuta itse veneen kykyyn suorittaa vaadittu toiminto. Haastatteluihin kului aikaa yhteensä seitsemän tuntia. Haastatteluille ei sovittu kiinteää aikaa, jotta alusten ja henkilöstön toimintaa ei rajoitettu, vaan haastatteluita tehtiin joustavasti tutkimuksen yhteydessä eri ajankohtina.

Jokaisen aluksen vikatiedot haettiin SAP-järjestelmästä ja luetteloidiin alusjärjestelmittäin vikaantumispäivämäärien mukaan. Tällä tavoin saatiin selville minkälaisia vikaantumisia on tapahtunut, ja kuinka usein samanlaiset vikaantumiset ovat tapahtuneet. Tarkastelujaksoksi valittiin mahdollisimman pitkä aikaväli, jotta saatiin mahdollisimman kattava otanta

vikaantumisista. Ensimmäinen tapahtuma oli kirjattu 23.9.2015 ja viimeinen tapahtuma 30.5.2023. Vikahistoria haettiin 1.6–3.6.2023, opinnäytetyölle myönnetyn hyväksytyn tutkimuslupapäätöksen jälkeen.

Vikahistorian lisäksi haettiin tiedot järjestelmien ja laitteiden huolloista, sekä valmistajan määrittämät huoltovälit valmistajien huoltomanuaaleista. Vikatiedot ja valmistajien huoltovälit koottiin Excel-taulukoon järjestelmittäin, josta ne olivat helposti saatavilla koko projektin ajan.

Vikahistorian käsittelyssä kävi selväksi, että viat painoutuivat samoihin järjestelmiin kuin käyttäjien haastatteluissa tuli esille. SAP-järjestelmään syötetyissä tiedoissa oli huonosti saatavilla järjestelmien käyntiaikoja, joten MTBF -arvojen laskenta osoittautui osin mahdottomaksi. SAP-järjestelmän hakutoiminnolla tuli listaukseen myös muita järjestelmiä, joiden otsikoissa esiintyi samoja numeroita, joten vikojen poimiminen oli osittain manuaalista, joka voi aiheuttaa epävarmuutta tuloksiin. Työn edetessä vianhaku parametrejä muutettiin ja saatiin selkeämpi hakutulos kuljetusveneiden vikaantumisista.

Alusten käyttöprofiili ja varastointikierto tunnistettiin lähtötietoja kerätessä, jotta uusia kunnossapitotöitä pystyttiin ajoittamaan huoltokierrossa oleville aluksille käytettävyyden parantamiseksi. Myös näiden tietojen saaminen oli työlästä ja vaati käyttäjien osallistumista. Vikailmoitusten määrän vähäisyydestä johtuen asiantuntijoiden rooli oli huomattava uusia kunnossapitotehtäviä määritettäessä.

Jokaiselle aluksen järjestelmällä on määritelty alijärjestelmiä. Alijärjestelmille tehtiin kriittisyysluokittelu käyttäen RCM-analyysin tukena toiminutta ohjelmistoa. Tarkoituksena oli selvittää mitkä järjestelmät ovat tärkeimpiä aluksen operoinnin ja turvallisuuden kannalta. RCM-analyysin yhteydessä käytettyyn tietokantaan on luotu rakenne kuljetusvenelle, joka vastaa suurelta osin SAP-järjestelmän hierarkista rakennetta, johon käyttäjät kohdentavat vikailmoituksia.

5.3 Kunnossapidon nykytilanne ja organisaatio

Vikaantumisen ilmettyä tehdään vikailmoitus SAP-järjestelmään. Ilmoitukseen määriteltävä kriittisyys koskee laitteen vikaantumisen vaikutusta koko järjestelmän toimintaan. Kriittisyyden

perusteella kunnossapito-organisaatio määrittää työt, mitkä toteutetaan nopeimmin. Arvioinnissa tuleekin huomioida se, että vaikuttaako havaittu vikaantuminen esimerkiksi moottorin toimintaan, koska pysäyttävä vika vaikuttaa koko järjestelmän toimintaan ja henkilöturvallisuuteen. Pysäyttävä vika on yleensä arvioitu erittäin kriittiseksi. Jos korjaustyö on voitu lykätä seuraavan mahdolliseen määräaikaishuoltoon, tai ajanjaksoon, jolloin moottoria ei käytetä, on vaikuttavuus arvioitu keskinertaiseksi.

Vikaantumisesta tehdään vikailmoitus, jossa kuvataan vikaantuminen mahdollisimman yksityiskohtaisesti, sekä määritetään aikataulu milloin vikaantuminen tulee korjata. Vikailmoitusta täydennetään työn valmistuttua, jolloin kirjataan suoritettut työt sekä päätetään työ. Huolloista tehdään toimenpide ilmoitus, jossa ilmoitetaan mitä huoltoja tehtiin, mitä osia käytettiin ja kirjataan mahdolliset huomiot ja poikkeamat. Moottoreiden käyntitunnit ilmoitetaan myös vika- ja huolto ilmoitukseen.

SAP-järjestelmään on tallennettu joidenkin laitteistojen huoltomanuaalit, mutta SAP-järjestelmä ei ohjaa käyttäjää, esimerkiksi muistuttamalla lähestyvistä huolloista. Järjestelmään ei syötetä myöskään mitattua prosessidataa, vaan pelkästään tilastollista dataa.

Huoltoja suoritetaan pääosin laitevalmistajien määrittämin huoltovälein. Saman tyyppisiä polttomoottoreita käytetään yleisesti myös varavoimakoneina, joissa käyttöolosuhteet ja vuosittainen käyttöaika poikkeavat paljon verrattuna kuljetusveneiden käyttöön, mutta huoltotoimenpiteet ovat samat. Tästä syystä valmistajien ilmoittamiin huoltoväleihin kannattaa suhtautua kriittisesti, koska joissakin olosuhteissa ja käytössä voisi riittää pienemmätkin huoltotoimenpiteet samalla moottorityypille. Toisaalta jos moottoria kuormitetaan enemmän, se tarvitsee lyhyempää huoltoväliä.

Merijärjestelmien käyttäjien tehtävä on kunnossapidon näkökulmasta haastava, johtuen toimintaympäristöstä. Merellä ja ulkosaaristossa tapahtuva toiminnallinen vikaantuminen pysäyttää, tai ainakin vaikeuttaa aluksen tehtävän suorittamista. Tästä johtuen kunnossapitotasojen yksi ja kaksi määritetty tehtävänjako muodostuu haastavaksi, koska tason kaksi kunnossapitohenkilöstön paikalle saaminen voi olla hidasta. Käyttöhenkilöstön tuleekin

saada alus toimintakykyiseksi käytettävissä olevilla kahdennuksilla, tai aluksen mukana kulkevilla varaosilla, vaikka kunnossapitotyö olisikin kohdennettu eri tasolle.

5.4 Kriittisten laitteiden valinta ja suojauspalvelu

Kaikkien järjestelmän laitteiden saattaminen RCM-analyysin piiriin voi aiheuttaa kohtuuttoman työmäärän saavutettuun hyötyyn nähden. RCM-analyysiä voi keventää suorittamalla kriittisyyskartoitus. Kriittisyyskartoituksen pohjalta voidaan verrata kunnossapidon nykytilaa ja kriittisyyskartoituksen tuloksia, josta selviää nykyisen kunnossapidon riittävyys.

Merijärjestelmille on ominaista, että toiminnalle kriittiset järjestelmät ovat kahdennettu, eli redundanttisia. Varsinkin puolustusvoimien aluksissa taistelukestävyys on huomioitu kahdentamalla järjestelmiä, sekä sijoittamalla kriittisiä laitteita joko eri konehuoneisiin, tai eri puolelle laivaa. Varajärjestelmä ei aina ole kuitenkaan yhtä tehokas kuin varsinainen järjestelmä, eikä välttämättä edes samanlainen komponentti. Esimerkiksi merivesijäähdytyksen pumpun vikaantuessa voidaan kierrättää toisen järjestelmän merivesikierrrosta vettä. Varajärjestelmä kuitenkin antaa mahdollisuuden korjata varsinainen järjestelmä, sekä jatkaa toimintaa.

Merivoimien suojauspalveluohjeen (2010, 9) mukaan sotalaivat on suunniteltu kestämiin onnettomuuksista ja taistelusta johtuvia vaurioita. Vauriokestävyyteen liittyviä ominaisuuksia ovat vedenpitävät osastot, rakenteellinen lujuus, vakavuus, palonkestävyys, nestemäisen lastin hallinta ja varakelluvuus. Suojauspalvelu on aluksen sisäistä taistelua ja siihen sisältyy vaurioiden ennaltaehkäisy, vaurioiden rajoittaminen sekä toimintakunnon mahdollisimman nopea palauttaminen. Toimintakunnon mahdollisimman nopea palauttaminen sisältää toimia, joissa suoritetaan tilapäisiä korjaustoimia koneistojärjestelmiin, sekä otetaan käyttöön vara- ja hätäjärjestelmiä.

Aluksen sisäinen taistelu, eli suojauspalvelu, onkin näiltä osin yhteydessä PSK 6201:2022 -standardin mukaiseen korjaavaan kunnossapitoon, ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon vaurio- ja taistelutilanteissa. Alusten tekninen henkilöstö toimii vaurio- ja taistelutilanteissa suojauspalvelun johtohenkilöstönä.

6 RCM-analyysin toteutus

6.1 Kuljetusvene

Järjestelmän luotettavuutta tarkastellessa tulee huomioida järjestelmälle määritetty tehtävä, sekä sisäänrakennettu suorituskyky. Järjestelmältä vaadittu tehtävä ei voi ylittää sisäänrakennettua suorituskykyä, kun järjestelmältä halutaan luotettavuutta. Jehu-luokan kuljetusveneet on suunniteltu sotilaskäyttöön.

Jehu-luokan kuljetusveneet on rakentanut Marine Alutech Oy Salossa. Ensimmäinen alus valmistui vuonna 2015. Jehu:n pituus on 19,9 metriä, leveys 4,29 metriä ja syväys 1,3 metriä. Jehu:n uppouma on 32,2 tonnia, nopeus 35 solmua ja toimintasäde 200 merimailia. Kaupallinen nimi Jehu:lle on Watercat M18 AMC.



Kuvio 12. Jehu-luokan kuljetusvene. (Kalustokuvasto, n.d)

Kuljetusveneet ovat alumiinirunkoisia ja kansirakenteet komposiittia. Kuljetusveneissä on sisäinen CBRN (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear) suojausjärjestelmä osana ilmastointijärjestelmää, joka edellyttää osastojen tiiveyttä. Kuljetusveneiden merikuljetuskyky on 31 henkilöä, tai 5,7 tuhatta kiloa. Miehistönä toimii kuusi henkilöä ja veneet on sijoitettu Vaasan rannikkojääkäripataljoonaan Raaseporiin. Aluksille on asetettu käyttörajoitteet tuulen ja aallokon mukaan.

Kuljetusveneiden toimintaympäristö on Itämeri. Aluksilla kuljetetaan joukkoja ja materiaalia saaristoon ja rannikolle vaativissa olosuhteissa ympäri vuoden. Kuljetusveneet soveltuvat myös johto-, tuki-, ja taistelutehtäviin. Veneet ovat varustettu kahdella Scanian valmistamalla pääkoneella ja kahdella Rolls-Roycen vesisuihkupropulsorilla. Sähköntuotannosta merellä vastaa yksi dieselgeneraattori. Moottoreiden käyttöä on rajoitettu ohjeistuksella, siten että käyttäjät eivät käytä maksimitehoa kuin lyhyen ajan kerrallaan.

Käyttöolosuhteet vaihtelevat vuodenaikojen mukaan, joka vaikuttaa myös alustekniikan toimintaan lämpötila- ja kosteus vaihteluiden johdosta. Jääolosuhteet vaikuttavat myös alusten toimintaan runkomateriaaleista ja propulsiojärjestelmästä johtuen. Meriveden suolapitoisuus ja johtavuus vaikuttavat materiaalien kestävyteen ja materiaalivalintoihin. Myös lämpötilojen ja ultravioletti säteilyn vaikutus materiaaleihin on huomattava ulkotiloissa.

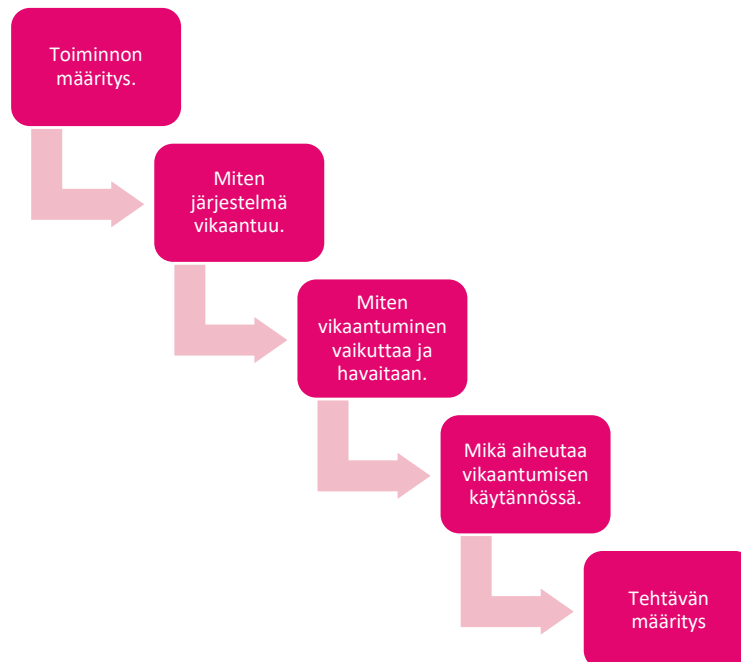
Kuljetusvene on jaettu osastoihin palo- ja vaurioitilanteiden varalta. Osastointi aiheuttaa putkistojen mahdollisten vikaantumisten lisääntymistä kasvaneesta liitos- ja venttiilimäärästä johtuen. Osastoiden väliset luukut ovat vesitiiviitä, joten niiden tulee olla toimintavarmoja. Vuodon sattuessa veneessä on kiinteä tyhjennysjärjestelmä, jolla vesi voidaan pumpata ulos laidasta. Toiminnan kannalta kriittisiä järjestelmiä on kahdennettu.

6.2 Vika- ja vaikutusanalyysi

Työn aikana suoritettiin kriittisyysarviointi järjestelmille, jonka perusteella määritettiin vika- ja vaikutusanalyysin suorittaminen vain tärkeimmille kohteille, koska haastatteluista ja SAP-järjestelmästä saatu tieto osoitti, että ongelmat keskittyivät selkeästi tiettyihin järjestelmiin. Kriittisyyden arviointi suoritettiin käytetyn tietokannan työkaluilla.

Kerättyjen vikatietojen, haastatteluiden ja kriittisyysanalyysin jälkeen aloitettiin analyysin vaihe, jossa määritettiin kunnossapidon toimenpiteet. Huolto-ohjelman tulee sisältää järjestelmän toiminnallisten vikaantumisten ehkäiseminen. Toiminnalliset vikaantumiset saatiin selvitettyä vika- ja vaikutusanalyysin avulla. Järjestelmälle määritettiin vaadittu toiminto, joka järjestelmän tulee kyetä suorittamaan, sekä tieto miten järjestelmä sen tuottaa. Toimintoa määriteltäessä hahmotettiin myös kohteen toimintaympäristö, sekä miten toimintaympäristö vaikuttaa järjestelmän toimintaan.

Toimintojen kirjaaminen RCM-tietokantaan rakennettuun hierarkiaan helpotti hahmottamaan toiminnallisia vikaantumisia, ja kuinka paljon niitä lopulta on koko aluksessa. Tämän työn luvussa 3.8 on mainittu, että vastaavanlaisen järjestelmän tietoja voidaan käyttää lähtötietona. Tätä toimintatapaa käytettiin joidenkin järjestelmien analysoinnissa, kun määriteltiin toimintoja järjestelmille, joita oli aikaisemmin analysoitu muille alusluokille, ja jotka olivat saman tyyppisiä rakenteeltaan ja toiminnoiltaan. Kuviossa kolmetoista on esitetty vika- ja vaikutusanalyysin prosessi, joka suoritettiin työpajojen aikana.



Kuvio 13. Vika- ja vaikutusanalyysi prosessi työpajojen aikana.

Toiminnallisille vikaantumisille järjestelmissä löytyi yksi tai useampi syy, joka aiheuttaa toiminnallisen vikaantumisen. Myös tapa jolla vikaantuminen havaitaan, kirjattiin tietokantaan. Lopuksi määritettiin tehtävät millä kunnossapidon toimenpiteillä vikaantumista ehkäistään, sekä kunnossapitotyön suorittajan taso. Tavoitteena oli myös tehottoman huoltamisen minimointi, sekä päällekkäisten huoltojen löytäminen. Huoltotehtäviä ja jaksoja tarkasteltiin projektin aikana kriittisesti veneiden käyttö- ja huoltojaksojen mukaisesti, mutta näitä ei käsitelty työpajoissa.

Ensimmäisessä työpajassa käytiin läpi analyysin rajaus alustekniikkaan. Vika- ja vaikutusanalyysin kohteet määritettiin toistuvien SAP-vikailmoitusten, haastatteluiden ja järjestelmälle suoritettun kriittisyystarkastelun perusteella. Työpajatyöskentely oli sujuvaa, kun vika- ja vaikutusanalyysi oli valmisteltu tietokantaan, johon lisättiin vain korjaava tehtävä työpajassa. Ensimmäiseen työpajaan osallistui viisi henkilöä. RCM-analyysin tukena toimineen tietokannan käyttö oli sujuvaa, kun tietokannan käyttöä harjoiteltiin koulutuksessa keväällä 2023. Koulutukseen osallistuivat kaikki työpajoihin osallistuneet henkilöt. Työpajassa myös tunnistettiin järjestelmiä joiden analyysiä tulee päivittää tulevaisuudessa. Ensimmäisessä työpajassa käsitellyt järjestelmä olivat sähköjakelujärjestelmät, ohjaus- ja valvontajärjestelmät, apujärjestelmät ja ilmanvaihtojärjestelmät.

Toisessa työpajassa käsitellyt järjestelmät olivat pääkoneet, propulsio, apukoneet, runko ja rungon varusteet, suojapalvelu ja meripelastusjärjestelmät, sekä ohjailujärjestelmät. Työpajan lopuksi todettiin rajauksen mukaisten järjestelmien analysointi valmiiksi. Työpajaan osallistuneet totesivat työskentelyn olevan sujuvaa, koska aineisto oli kerätty, sekä vika- ja vaikutusanalyysin polku toiminnosta, vikaantumisen aiheuttajaan oli valmisteltu. Vika- ja vaikutusanalyysit kohdennettiin alijärjestelmille, koska esimerkiksi apujärjestelmät sisälsivät useita eri järjestelmiä tukevia alijärjestelmiä, joten järjestelmän tasolle tehdyn analyysin ymmärrettävyys olisi voinut olla huonompi. Järjestelmähierarkia on rakennettu RCM-tietokantaan, SAP-järjestelmän mukaisesti.

7 Tulokset

7.1 Vikailmoitusten jakautuminen ja haastattelutulokset

Kuljetusveneiden järjestelmien elinkaaren aikainen vikaantuminen jakaantui kuvion neljätoista mukaisesti kuljetusveneiden operointijakson aikana. Tulokset on rajattu käsiteltyihin alusjärjestelmiin.



Kuvio 14. Vikailmoitusten kohdentuminen järjestelmittäin.

Haastatteluiden tuloksena saadut tiedot vikaantumisista jakaantuivat järjestelmittäin kuvion viisitoista mukaisesti. Tämä tulos on myös rajattu alusjärjestelmiin, jotka olivat työn rajauksena.



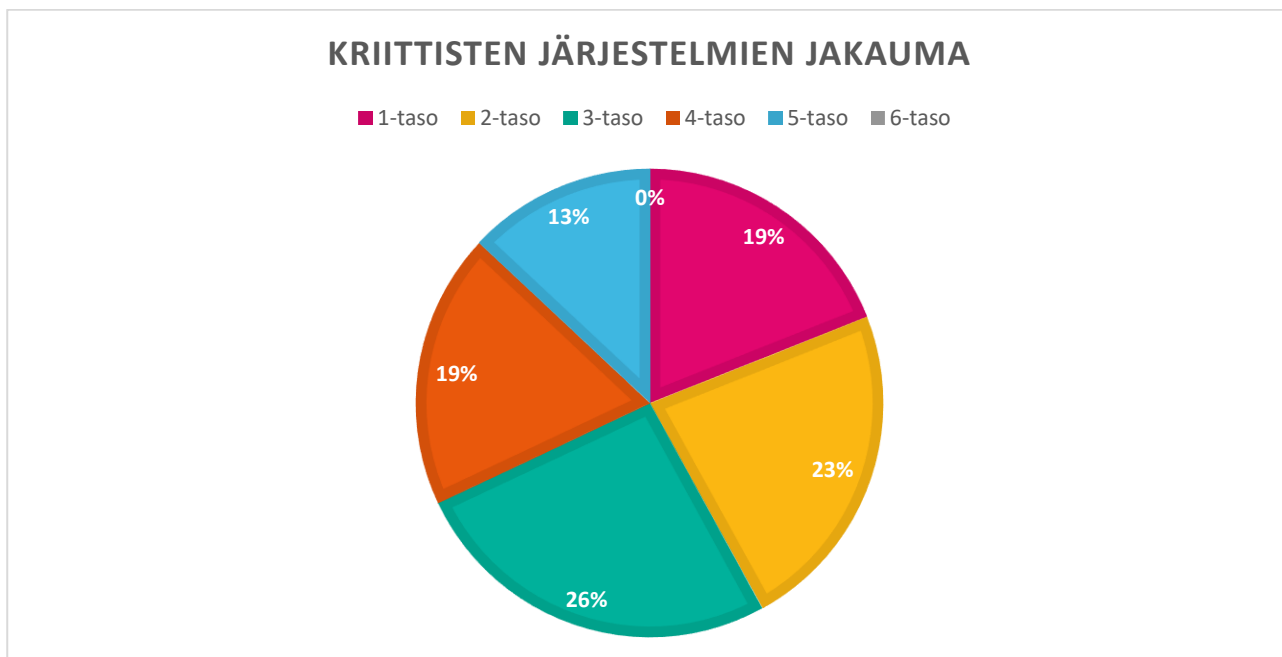
Kuvio 15. Eniten vikaantuvat järjestelmät haastatteluiden perusteella.

Haastatteluissa ja SAP-järjestelmästä kerätyt tiedot sisältävät samoja järjestelmiä, joka todennäköisesti johtuu siitä, että vikailmoituksia tekevät samat henkilöt joita haastattelut koskivat. Haastatteluista saatiin hyvää hiljaista tietoa tukemaan tietokannasta saatuja vikatietoja. Haastatteluissa selvisi myös mahdolliset järjestelmien kahdennukset, sekä tapa jolla käyttäjä voi havaita vikaantumisia.

7.2 Kriittisyysanalyysin tulokset

Tämän opinnäytetyön rajauksen mukaisille järjestelmille ei ollut suoritettu riskianalyysiä tai kriittisyysluokittelua aikaisemmin. Kriittisyysluokittelu suoritettiin RCM-analyysin tekemiseen käytetyn tietokannan riskienarviointi työkaluja apuna käyttäen. Kuviossa kuusitoista esitetty järjestelmille määritetyt kriittisyysluokkien osuudet prosentteina. Kuviossa esitetty taso yksi on matalin kriittisyys, ja taso kuusi on korkein kriittisyys.

Arvioinnissa vastattiin kysymyksiin vikaantumisen vaikutuksesta turvallisuuteen, vikaantumisen aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, vikaantumisesta aiheutuviin taloudellisiin ja operointiin vaikuttaviin seikkoihin, sekä arvioitiin vikaantumisen vaikutusta koko toiminnon toteutumiseen ja vian havainnointitapaa normaalin käytön aikana.



Kuvio 16. RCM-analyysi tietokannan työkalulla arvioidut kriittisyyden tasot.

Suurimman kriittisyyden saivat järjestelmät, joilla oli vaikutusta henkilöturvallisuuteen, sekä kuljetusvälineen päätoiminnon toteutumiseen. Opinnäytetyön tekijä valmisteli kriittisyysanalyysin ennen työpajaa, ja analyysi tarkastettiin asiantuntijoiden kanssa työpajan aikana. Korkeimpiin kriittisyyden luokkiin sijoittuneisiin järjestelmiin pyrittiin löytämään ennakoitava tehtävä, vaikka vikahistoria ei osoittanut toistuvaa vikaantumista järjestelmässä. Kaikkiin järjestelmiin ei kuitenkaan löydetty soveltuvia tehtäviä.

7.3 Vika- ja vaikutusanalyysin pohjalta määritetyt tehtävät

Vika- ja vaikutusanalyysien tarkoituksena oli löytää järjestelmien toiminnalliset vikaantumiset, ja viat, joita ilmenee järjestelmän käytössä. Jokaiselle kerätyistä tiedoista selvinneelle vikaantumiselle määritettiin ehkäisevät kunnonvalvonta-, tai tarkastustehtävät, joiden suoritusten väli määritettiin asiantuntijoiden, sekä valmistajien suosittelemien välien mukaiseksi. Varsinkin erikoisempien komponenttien kohdalla käytettiin asiantuntija arvioita, koska valmistaja ei ollut määrittänyt huoltoväliä.

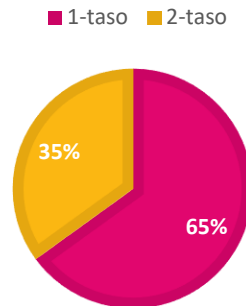
Vika- ja vaikutusanalyysillä löydettiin myös useita vikaantumisia, joille ei pystytty määrittelemään tarkasti milloin ennakoiva kunnossapitotehtävä tulisi suorittaa. Tällöin suositeltu toimenpide oli RTF (Run To Failure). Vika- ja vaikutusanalyysillä löydettiin myös vikaantumisia, joille oli alusten elinkaaren aikana jo suoritettu muutostöitä. Muutostyöt olivat tuoneet uuden mahdollisesti vikaantuvan komponentin, ja tälle komponentille asetettiin määräaikaistarkastus.

Suurin osa töistä pyrittiin ajoittamaan ajankohtaan, jolloin kuljetusveneet ovat poissa käytöstä, koska haluttiin siirtää mahdollisimman paljon töitä pois ajankohdasta, missä kuljetusveneitä käytetään. Myös työturvallisuus on tällöin parempi, kun työn suorittamisessa ei synny kiirettä, sekä olosuhteet ovat työn suorittamiselle paremmin soveltuvat.

Useimpien toimenpiteiden suoritusväli muodostui pitkäksi, joka johtuu järjestelmän käytöstä ja säilytyskierrosta. Pisimmät tarkastusvälit ovat laitteilla, joiden vikaantuminen pystytään huomaamaan helposti käyttäjien toimesta ja aikaisessa vaiheessa. Kriittisille suoja palvelun palontorjunta- ja vauriontorjuntalaitteistoille määritettiin tarkastusvälit mukailemaan suoja palveluohjeen laitekokeiluja. Tällä tavoin ehkäistiin päällekkäisten tehtävien syntymistä käyttäjille.

Moottoreiden, vaihteiden ja muiden käytettävyyden kannalta tärkeiden laitteiden huoltoajankohtia ja välejä ei muutettu nykyisistä laitevalmistajien ohjeista. Huoltovälin muutos tulee perustua tiedolle ja mittauksille, esimerkiksi öljyanalyysihin, joiden tulokset kyseisen alustyyppin käyttöprofiilista johtuen, olisivat kestäneet liian kauan tämän tutkimuksen puitteissa. Huoltovälien muuttamisessa on myös ongelmana, kuinka tieto saadaan pysymään käyttäjillä henkilöstön vaihdoksien myötä. Tiedon periytymistä helpottaisi käyttäjien pääsy RCM-tietokannan tuloksiin. Nykytilanteessa käyttöhenkilöstön käytössä ovat laitevalmistajien huolto-ohjeet, joiden perusteella käyttäjät osaavat suorittaa huoltoja. Projektin aikana nousi esille vain yksi määräaikaishuolto, jonka huoltoväliä huoltohenkilöstön mielestä olisi voinut pidentää, mutta työryhmässä todettiin että tehtävä on järjestelmälle tarpeellinen nykyisellä huoltovälillä. Kuviossa seitsemäntoista on esitetty uusien kunnossapitotehtävien kohdentuminen kunnossapidon tasoille yksi ja kaksi.

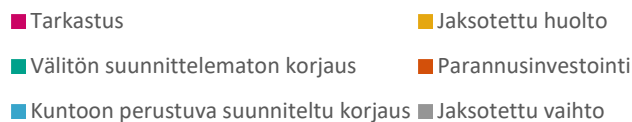
KUNNOSSAPITOTEHTÄVIEN KOHDENTUMINEN KUNNOSSAPIDON TASOILLE.



Kuvio 17. RCM-analyysin tuloksena määritettyjen tehtävien kohdentuminen kunnossapidon tasoille.

Ennakoivat toimenpiteet määriteltiin kunnossapidon tasolle, johon vastaavat tehtävät on aikaisemmin määritelty, eli käyttöhuoltoon, jonka suorittavat käyttävät joukot, tai korjaavaan kunnossapitoon, jota suorittaa strateginen kumppani. Eniten tehtäviä kohdentui tasolle yksi, eli käyttäjien suoritettavaksi. Kuviossa kahdeksantoista on esitetty töiden jakautuminen kunnossapitolajeittain. Tässä työn julkisessa osassa ei esitetä tehtävien sisältöä ja määrää järjestelmittain. Tehtävät on myös muutettu tietokannan tehtävä nimikkeistä, standardin PSK6201:2022 mukaisiksi kunnossapitolajeittain.

MÄÄRITETYT KUNNOSSAPITOTEHTÄVÄT PSK 6201:2022 STANDARDIN MUKAISESTI.



Kuvio 18. Määritetyt tehtävät kunnossapitolajeittain joilla toiminnallisiin vikaantumisiin puututtiin.

Eniten uusia kunnossapitotehtäviä kohdentui käyttöhenkilöstön suoritettavaksi tarkastus tehtäviksi. Määritetyt kunnossapitotehtävät perustuivat aina johonkin vikatiedon lähteeseen. Kunnossapitotason lähteinä toimivat aineisto aikaisempien vastaavien töiden osalta, käyttöhuollon ja kunnossapidon rajapinta, sekä työpajaan osallistuneet asiantuntijat. Kuviossa yhdeksäntoista on esitetty järjestelmät, joihin uudet tehtävät kohdentuivat.

Järjestelmä	Määritetty kunnossapito tehtävä
Pääkoneet	x
Propulsiojärjestelmät	x
Apukoneet	x
Sähkönjakelujärjestelmät	x
Ohjaus- ja valvontajärjestelmät	x
Apujärjestelmät	x
IV- järjestelmät	x
Runko ja rungon varusteet	x
Suojapalvelu/ meripelastusjärjestelmät	x
Ohjailujärjestelmät	x

Kuvio 19. Järjestelmät joille määritettiin uusia kunnossapitotehtäviä, tehtävä poistettu julkisesta versiosta.

Vika- ja vaikutusanalyysiä suoritettaessa huomattiin myös, ettei kaikkia vikaantumisia ole kirjattu SAP-järjestelmään, eivätkä viat nousseet esille myöskään käyttöhenkilöstön haastatteluissa. Tietoa saatiin viranomaistarkastusten raporteista, joiden perusteella pystyttiin asettamaan aikaväli kunnossapidon tehtäville. RCM-analyysin lopputuloksena ei saavutettu rahallisia säästöjä kunnossapidon tehtäviin. Kuljetusveneet ovat suunniteltu sotilaskäyttöön, jolloin niistä ei ole olemassa siviiliversioita, joiden huolto-ohjelmaan kustannuksia voisi verrata.

7.4 Dynaaminen huolto-ohjelma ja jatkuva kehittäminen

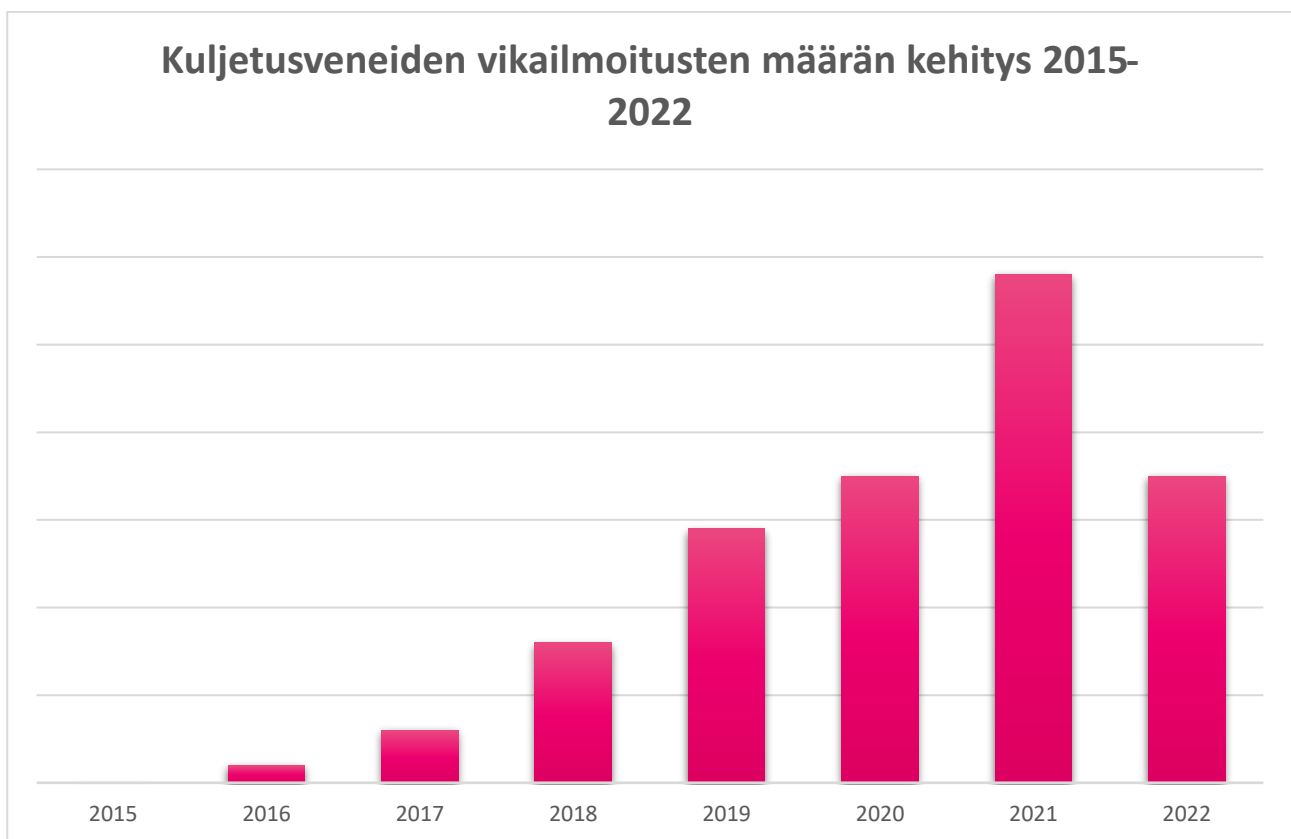
Opinnäytetyön aikana havaittiin suuria poikkeamia SAP-järjestelmän vikailmoitusten sisällössä. Laitteille kohdistuneet vikailmoitukset eivät usein sisältäneet laitteen käyntiaikoja, joka hankaloitti, tai teki mahdottomaksi laskea MTBF -arvoja, sekä tehdä vikakertymäkuvaajaa. Vaikka laite oli vikaantunut päivämäärien mukaan suhteellisen samaan ajankohtaan eri vuosina, ei käyntiaikoja ollut käytettävissä. Vikailmoituksen käyntiaikojen ilmoittamiseen tulee siis kiinnittää huomiota. Kaikkien aluksen järjestelmien käyntiaikojen sitominen pääkoneiden käyntiaikaan ei myöskään ole mielekästä, koska muut järjestelmät voivat olla käynnissä, vaikka moottorit eivät ole käynnissä. Jos muuta keinoa laitteen käyntiajan seuraamiseen ei ole, tulisi harkita enemmän käyneen pääkoneen, tai generaattorikoneen käyntituntien määrän käyttämistä ilmoituksen otsikossa.

Työpajoissa tunnistettiin tarve RCM-analyysin päivittämiselle tulevaisuudessa. Varsinkin tulevaisuudessa mahdollisesti käytettävät, nykyisestä poikkeavat polttoaineet, voivat aiheuttaa muutoksia huoltoväleihin polttoainejärjestelmässä. Myös ilmastointijärjestelmän tärkeys ja toimintavarmuus huomioitiin komponenttien lämmönkestävyyden osalta ulkolämpötilojen johdosta, joita operointikaudella esiintyy. RCM-analyysin perusteella määritetyt uudet kunnossapitotehtävät tulee saattaa käyttäjille tietoon päivittämällä käyttöhuollon tehtäväluettelo.

RCM-analyysin tuloksena saadut uudet kunnossapitotehtävät tullaan esittelemään lisättäväksi kuljetusveneiden huolto-ohjelmaan. Tehtävien vaikutusta tulevien vuosien vikakertymiin olisi hyödyllistä tarkastella määräjain, jotta voidaan todeta onko uusilla tehtävillä ollut vaikutusta vikaantumisien määrään. RCM-analyysin aikana huomattiin myös, etteivät kaikki alukset ole täysin identtisiä, koska joihinkin aluksiin oli asennettu testikäyttöön tarkoitettuja laitteita. Testikäytöt tulee saattaa loppuun, ja saattaa alukset teknisesti samankaltaisiksi järjestelmähierarkiaan asti, jotta käyttäjät voivat kohdentaa vikailmoitukset oikein ja tietokannan sisältämä tieto muuttuu täsmällisemmäksi seuraavaan huolto-ohjelman päivitykseen mennessä.

8 Johtaminen ja jalkautus kentälle

Vikaantumisesta ilmoittaminen ja huoltojen kirjaaminen tulisi tehdä niin ongelmattomaksi, ettei kirjaamista voi jättää välistä. Vika tai muut poikkeavat tapahtumat eivät välttämättä jää historiatietoihin. Ilmoituksen tai suorituksen kirjaamista voidaan parantaa joko koulutuksella tai huolto-ohjelmaa kehittämällä. Huolto-ohjelman ylläpito tulisi aloittaa järjestelmän elinkaaren rakentamisvaiheessa uuden kaluston kanssa, jonka seurauksena historia tallentuisi heti elinkaaren alusta alkaen. Kuviosta kaksikymmentä voidaan huomata, että vikakirjaaminen on kehittynyt vuosien varrella, tai että vikakirjaaminen on ollut hyvää alusta alkaen, ja viimeisten alusten käyttöönoton jälkeinen lastentautijakso kesti neljä vuotta kunnes vikaantuminen lähti laskemaan.



Kuvio 20. Vikailmoitusten määrän kehittyminen.

Ennakoivan kunnossapidon tärkein tiedon lähde on hyvin koulutetun käyttöhenkilöstön tietämys laitteen kunnosta. Aistinvarainen kunnonvalvonta yhdistettynä valvontajärjestelmästä saatuihin tietoihin auttavat käyttäjiä suunnittelemaan ennakoivaa kunnossapitoa niihin lyhyisiin jaksoihin, jolloin järjestelmältä ei vaadita käyttöä.

Kunnossapidolla voidaan auttaa järjestelmää saavuttamaan järjestelmältä vaadittu suorituskyky, kun sisäänrakennettu suorituskyky on suurempi kuin vaadittu suorituskyky. Toisaalta, jos vaadittu suorituskyky ylittää järjestelmään rakennetun suorituskyvyn, niin kunnossapito ei pysty auttamaan vaaditun suorituskyvyn ylläpitämistä. Tällöin joudutaan muuttamaan järjestelmän käyttötottumuksia ja madaltamaan odotuksia, tai muuttamaan järjestelmää siten että se kestää vaaditun suorituskyvyn.

Jotta RCM-analyysiä voisi päivittää järjestelmän elinkaaren aikana, tulisi käyttäjän kunnonvalvontatietoa kerätä laajemmin, ja kunnonvalvontatieto tulisi pystyä kohdistamaan oikealle tasolle järjestelmähierarkiassa. Myös käytön ja kuormituksen seuranta tulisi olla samassa järjestelmässä kuin kunnonvalvonta. Jotta RCM-analyysillä luotu huolto-ohjelma olisi dynaaminen ja oppiva, tulee määrittää soveltuvat kunnossapidon mittarit, sekä sitouttaa henkilöstö valvomaan mittareita ja määrätietoisesti parantaa kunnossapito-ohjelmaa.

SAP-järjestelmään on tallennettu laitteistojen huolto manuaalit, mutta itse ohjelma ei ohjaa käyttäjää, esimerkiksi muistuttamalla lähestyvistä huolloista. Järjestelmään ei syötetä myöskään mitattua prosessidataa, vain pelkästään tilastollista dataa. Kunnossapitohistorian tietoa käytetään kunnossapidon suunnitteluun ja suorituskyvyn mittaamiseen. Historiaa voidaan myös käyttää toistuvien vikaantumisien havaitsemiseen ja juurisyyanalyysiin. Historiatiedolla saadaan siirrettyä hiljaista tietoa myös henkilöstön vaihtuessa.

RCM-analyysin tietokannan näkymä tulisikin ulottaa aluksille ja käyttävälle henkilökunnalle, jotta analyysistä saisi kaiken hyödyn irti. Newtonin ja muiden (2012) mukaan Iso-Britannian kuninkaallinen laivasto kouluttaa alusten henkilöstöä samalla tavalla kuin tukevia organisaatioita, noin kahden vuoden välein, jotta ymmärrys RCM-analyysistä ja tietous kunnossapitostrategiasta pysyy ajantasaisena, ja henkilöstöä perehdytetään aiheeseen tehtävien vaihtuessa. Tiedon välitys aluksille voitaisiin toteuttaa esimerkiksi tulosten muodossa, jos tietoturva tai tietokantaan pääsy aiheuttaa ongelmia. Koulutus voisi auttaa myös parantamaan vikailmoitusten laatua, kun tietous kasvaisi siitä, että vikailmoitusten tietoja käytetään muuhunkin tarkoitukseen, kuin vain akuutin vian korjaustyön tilaamiseen.

9 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyön aikana suoritetun RCM-analyysin tarkempia tuloksia ei esitetä tässä opinnäytetyön julkisessa raportissa, vaan ne on esitetty toimeksiantajan sisäiseen käyttöön tarkoitetussa raportissa. Eettisten periaatteiden mukaisesti opinnäytetyössä kunnioitettiin tutkittavan organisaation ja henkilöstön yksityisyyttä, sekä oikeuksia. Opinnäytetyön tuloksena määriteltyjen uusien kunnossapitotehtävien mahdolliset haitat ja riskit minimoitiin useista lähteistä kerätyllä tiedolla. Menetelmänä käytetty toimintatutkimus soveltui hyvin kehittämistyöhön. Haastatteluista ja tietokannasta kerätyn tiedon käsittely työpajoissa asiantuntijoiden kanssa paransi tiedon laatua, sekä luotettavuutta. RCM-analyysin tekemiseen käytetty kokonaisaika vääristyy, kun työ tehtiin osana opinnäytetyötä, jonka valmistumiselle oli asetettu tavoiteaika, sekä työtä tehtiin normaalin työajan ulkopuolella.

Tutkimuskysymyksenä oli selvittää, soveltuuko RCM-menetelmä kuljetusveneiden huolto-ohjelman rakentamiseen. RCM-analyysi antoi selkeän toimintatavan järjestelmän huolto-ohjelman rakentamiseen. Analyysin suorittamisen tukena ollut ohjelma antoi hyvän ”muistin” minne sisältöä luotiin työpajojen aikana, kerätyn aineiston perusteella. Ilman RCM-analyysiä moni vikaantumisen olisi todennäköisesti jäänyt huomioimatta, mutta aikaa kului paljon suhteellisen halpojen, ja ei niin kriittisten vikojen ennakoimiseen. RCM-analyysin lopputuloksena kunnossapidon kustannukset eivät laskeneet, vaan varaosien kulutus ja työtuntien määrä kasvoi. Pitkän aikavälin vikaantumisen seurannalla voidaan todeta, vaikuttivatko määritetyt tehtävät laskevasti vikaantumiseen, jonka perusteella mahdolliset säästöt elinkaarikustannuksissa voisivat syntyä.

Suurin ongelma RCM-menetelmän käytössä tällä hetkellä on SAP-järjestelmän vikakirjausten laatu. Vikakirjaukset on nimetty vaihtelevasti, ja vikailmoituksista puuttuu järjestelmien käyntiaikoja. Vikailmoituksia kertyy myös vähäinen määrä. Myös järjestelmän huoltojen, sekä korjausten ajallisten kestojen merkinnät poikkesivat toisistaan paljon, joka aiheuttaa epävarmuutta käyttövarmuutta laskettaessa. Ongelmalla voidaan kyseenalaistaa koko RCM-analyysin tekemisen mielekkyys, jos kaikki käytetty tieto perustuu pääosin asiantuntijalausuntoihin ja käyttäjien haastatteluihin. Tiedon jalostus työpajassa kerätyn aineiston kanssa paransi tiedon laatua. Työpajatyöskentely lisää myös lopullisen tiedon luotettavuutta. Mikäli opinnäytetyön aikana olisi muutettu moottoreiden huoltovälejä, olisi työn aikataulu venynyt usean vuoden projektiksi, johtuen mittauksista, näytteistä ja tulosten analysoinnista.

Vikailmoitusten käyntiajat olisivat tuoneet kaivattua lisäarvoa tutkimukselle. P-F -käyrän mallin käyttäminen kuntoon perustuvassa kunnossapidossa voisi tarjota hyviä mahdollisuuksia satunnaisten vikaantumisten ehkäisemiseksi ennakoiduilla kunnossapitotehtävillä, jos vikojen havaitsemisen yhteyteen kirjattaisiin käyntitunnit, eikä pelkästään päivämäärää, koska järjestelmiä ei käytetä tasaisesti päivämäärien mukaan. Koulutuksessa käsiteltiin myös MTBF -arvon käyttämistä huoltovälien määrittelyyn. Tämän opinnäytetyön tietoperustassa on kuitenkin lähteitä, joiden mukaan MTBF -arvoa ei tulisi käyttää välin määrittämiseen. Koska kyseessä on keskiarvoon perustuva luku, voi puolet vikaantumisista voi jäädä estämättä. MTBF -arvoa voi kuitenkin käyttää kunnonvalvontatehtävien määrittämiseen, joita määritettiin eniten RCM-analyysin lopputuloksena.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli myös lisätä aiheesta tietoutta, sekä tarjota vaihtoehtoja. Jos RCM-menetelmän käyttöä kuljetusveneillä jatketaan siten, että se suoritetaan kaikille alijärjestelmille, tulisi tuotettu tieto ulottaa laajemmin käyttäjien tietoon koulutuksen kautta. Tätä kautta menetelmän läpikäynnin aikana tuotetusta tiedosta saisi enemmän hyötyä, kun tieto palvelisi myös alushenkilöstöä päätöksenteossa ja vianhaussa, joka osaltaan voisi vähentää toimintakyvyttömyysaika ja parantaa käytettävyyttä.

Merivoimien näkökulmasta RCM-analyysin aikana suoritetusta vika- ja vaikutusanalyysistä syntyvä polku toiminnosta, korjaavaan toimenpiteeseen, voisi myös olla käyttökelpoinen työkalu alusten suojapalvelun johtamisen näkökulmasta, jossa vaaditaan nopeita päätöksiä korjaavien toimenpiteiden suorittamiseksi, sekä vara- ja hätäjärjestelmien käyttöä. Tällöin RCM-analyysin tekeminen vaatii kuitenkin paljon enemmän ajallisia resursseja työn tekijöiltä, verrattuna kriittisyysanalyysin ja vikahistorian perusteella tehtäville vika- ja vaikutusanalyysille.

Jos halutaan keventää prosessia ja analyysiin käytettyjä ajallisia resursseja, niin suoritetaan järjestelmille kriittisyysanalyysi, jonka jälkeen suoritetaan RCM-analyysi vain niille järjestelmille, joiden kriittisyys on korkein, sekä kertyneen vikahistorian osoittamille vikaantumisille, ja päivitetään analyysiä säännöllisesti. Merijärjestelmille ominainen järjestelmien kahdentaminen lisää myös käyttövarmuutta ja turvallisuutta, joka tulisi ottaa huomioon kriittisyysanalyysissä. Vika- ja vaikutusanalyysin kohdentamiseksi käytettävää kriittisyystarkastelua voisi kehittää sopimaan paremmin merijärjestelmille, mukaan lukien vara- ja hätäjärjestelmien vaikutuksen analysointi

järjestelmän kriittisyyteen kunnossapidon näkökulmasta. Esimerkiksi erillinen arviointimatriisi, jonka tulos lopulta skaalautuisi tietokannan numeerisiin lukuihin, jolloin tieto olisi helposti siirrettävissä tietokantaan, tai RCM-analyysitietokannan riskienarviointi työkalujen kysymysten muuttaminen sopivammiksi. Suurimman kriittisyyden omaaville järjestelmille olisi myös hyödyllistä suorittaa vikapuuanalyysi. Vikapuuanalyysillä voidaan tunnistaa järjestelmän toiminnan kannalta kriittisimmät komponentit. Toiminnan kannalta kriittisimpien komponenttien saatavuus vikatilanteissa vaikuttaa aluksen käyttövarmuuteen.

RCM-analyysin aikana voisi myös miettiä kunnossapitoa suorittavan kunnossapitotason resursseja, johon työt kohdennetaan. Kunnossapidon ohjaus, ja käyttöhuollon henkilöstö kuuluvat eri organisaatioihin. Uusia töitä kohdentui enemmän käyttöhuoltoon kuljetusveneiden kohdalla. Seuraavia jatkotutkimuksen aiheita nousi esiin, kun tutkittiin kuljetusveneiden luotettavuuskeskeistä kunnossapitoa, joilla voitaisiin saada enemmän hyötyä irti RCM-analyysiin käytetystä ajasta:

- Järjestelmien kriittisyyden arviointiin soveltuvan matriisin kehittäminen tukemaan RCM-analyysiprosessia.
- RCM-menetelmän tulosten tietämyksen kehittäminen järjestelmiä käyttävien henkilökunnan päätöksenteossa ja vianhaussa.

Lähteet

Basson, M., Moubray, J. 2018. RCM3: Risk-Based Reliability Centered Maintenance. South Norwalk: Industrial press.

Downer, J. 2009. When Failure is an Option: Redundancy, reliability and regulation in complex technical systems. London: The London school of economics and political science.
<http://eprints.lse.ac.uk/36537/1/Disspaper53.pdf>

Eriksen, S. Bouwer, I & Lützen, M. 2021. An RCM approach for assessin reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships. Viitattu 5.8.2023. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/1>

Eriksen, S & Lützen, M. 2022. The impact of redundancy on reliability in machinery systems on unmanned ships. Journal of maritime affairs. Viitattu 6.7.2023.
https://findresearcher.sdu.dk/ws/portalfiles/portal/197725818/Eriksen_and_L_tzen_The_impact_of_redundancy_on_reliability_.pdf

Gulati, R. 2013. Maintenance and Reliability Best Practices. Second edition. New York: Industrial Press.

Kalustokuvasto. N.d. Puolustusvoimat. Viitattu 21.9.2023.
<https://puolustusvoimat.fi/kalusto#/asset/view/id/312>

Kosola, J. 2007. Suorituskyvyn elinjakson hallinta. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kortelainen, H. Komonen, K. Laitinen, J. Valkokari, P. Hanski, J. 2021. Tietämisperusteinen elinjakson hallinta. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry.

New, C & Gay, R. 2012. RCM in the royal navy- developing a risk based policy for integrating safety and maintenance management. Lontoo. Viitattu 9.8.2023.
https://theforge.defence.gov.au/sites/default/files/reliability_centred_maintenance.pdf

Ojasalo, K. Moilanen, T. Ritalahti, J. 2014. Kehittämistyön menetelmät. Helsinki: Sanoma Pro

PSK 6201:2022. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry. Viitattu 10.3.2023. <https://janet.finna.fi/>, PSK standardit.

PSK 6800:2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry. Viitattu 12.3.2023. <https://janet.finna.fi/>, PSK standardit.

Puolustusvoimat. 2023. AT13730 tutkimuslupapäätös (Pekkala). Helsinki: Pääesikunta.

Renko, K. 2023. Mahdollistaja. Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen sidosryhmälehti. Toim. Mahdollistaja-lehden toimitus. Tampere: Logistiikkalaitoksen esikunta, 12-13.

SFS 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Suomen standardisoimisliitto SFS. <https://janet.finna.fi/>, SFS standardit.

SFS 13372:2013. Koneiden kunnonvalvonta ja diagnostiikka. Sanasto. Suomen standardisoimisliitto SFS. <https://janet.finna.fi/>, SFS standardit.

Sifonte, J., Reyes- Picknell, J. 2017. Reliability Centered Maintenance- Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R. Florida: Taylor & Francis Group.

Suojapalveluohje. 2010. Helsinki: Merivoimien esikunta.

Valtioneuvoston puolustusselonteko. 2021. Helsinki: Valtioneuvoston julkaisuja 2021:78. Viitattu 4.5.2023.
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163405/VN_2021_78.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Liitteet

Liite 1. Haastattelukysymykset

Haastattelukysymykset.

1. Mitkä ovat eniten vikaantuvia kohteita?
2. Mikä niissä vikaantuu?
3. Mikä vaikutus vikaantumisella on järjestelmän toimintaan?
4. Miten käyttäjä pystyy havaitsemaan vian?
5. Onko laite/järjestelmä kahdenneku, tai voidaanko järjestelmän käyttöä jatkaa muulla tavoin?