

Raskaan raketinheittimen varaosa- komponentit

Kari Takala

Opinnäytetyö
Tammikuu 2022
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (ylempi AMK), Logistiikka

Tekijä(t) Takala, Kari	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä Tammikuu 2022
	Sivumäärä 54	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä
Työn nimi Raskaan raketinheittimen varaosakomponentit		
Tutkinto-ohjelma Logistiikka		
Työn ohjaaja(t) Pahlsten, Ville		
Toimeksiantaja(t) Puolustusvoimat		
Tiivistelmä Puolustusvoimien pääasiallisena tehtävänä on turvata Suomen aluetta, sen kansan elinmahdollisuuksia ja valtiojohdon toimintavapautta. Puolustusvoimat puolustavat laillista yhteiskuntajärjestystä tarvittaessa sotilaallisin voimakeinoin, aseellisen hyökkäyksen tai sitä vastaavan ulkoisen uhan kohdistuessa Suomeen. Raskasraketinheitin M270 MLRS D1 on yksi puolustusvoimien monista asejärjestelmistä, jota käytetään tähän tehtävään. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia raskaanraketinheittimen varaosakomponentteja, niiden kriittisyyttä ja varastointia. Tavoitteena oli tuottaa tietoa varaosakomponenttien kestävydestä, varastoinnin tarpeesta sekä luoda työkalu ennakoivan varaosavarautumisen avuksi sekä operatiivisen suunnittelun tueksi. Tutkimus toteutettiin tilastollisena analyysinä, sekä kysely- ja haastattelututkimuksena eri tasoilla järjestelmän parissa työskenteleville henkilöille. Tutkimuksen aineistona käytettiin järjestelmistä kerättyä komponenttien kulutusdataa sekä kyselytutkimuksen tulosta. Tutkimustuloksia analysoitiin matemaattisilla laskentamalleilla käyttäen MTBF-laskentaa sekä analyttistä hierarkiaprosessia. Tulosten perusteella pystytään määrittelemään kriittisiä varaosakomponentteja sekä niiden varastointitarvetta. Lopputuloksena syntyi matemaattinen malli ja eräänlainen työkalu, jota voidaan jatkossa käyttää operatiivisen suunnittelun apuvälineenä sekä seuraamaan järjestelmän kulumista ja helpottamaan näin ennakoivan kunnossapidon suunnittelua. Johtopäätösten perusteella jatketaan järjestelmän seuranta ja laajennetaan se kattamaan muitakin kuin alustan komponentteja. Näin saadaan aikaan lisää tietoa erilaisia suunnitteluprosesseja varten järjestelmän eri tasoille.		
Avainsanat MLRS, Raskasraketinheitin, Puolustusvoimat, varaosa, varastointi, kriittinen komponentti, MTBF-arvo		
Muut tiedot Liitte1 on salassa pidettävä, ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 10		

Author(s) Takala, Kari	Type of publication Master's thesis	Date January 2022
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 54	Permission for web publication: yes
Title of publication Heavy rocket launchers spare parts		
Degree programme Master's Degree Programme in Logistics		
Supervisor(s) Pahlsten, Ville		
Assigned by Finnish Defence Forces		
Abstract The main task of the Finnish Defense Forces is to secure the territory of Finland, the livelihoods of its people and the freedom of action of the state leadership. The Finnish Defense Forces defend the legitimate social order, if necessary by military force, in the event of an armed attack or a similar external threat to Finland. The M270 MLRS D1 heavy rocket launcher is one of the many weapon systems used by the Defense Forces for this purpose. The aim of the thesis was to study the spare parts components of a heavy rocket launcher, their criticality and storage. The aim was to provide information on the durability of spare parts components, the need for storage, and to create a tool to help with proactive spare parts preparedness and to support operational planning. The survey was conducted as a statistical analysis, as well as a survey and interview survey of people working on the system at different levels. The material used in the study was the consumption data of the components collected from the systems and the result of the survey. The research results were analyzed using mathematical calculation models using MTBF calculation and an analytical hierarchy process. Based on the results, it is possible to determine critical spare parts components and their need for storage. The result was a mathematical model and a kind of tool that can be used in the future as an aid to operational planning and to monitor system wear and thus facilitate the planning of preventive maintenance. Based on the conclusions, the monitoring of the system will be continued and extended to non-platform components. This provides more information for different design processes at different levels of the system.		
Keywords/tags MLRS, Heavy Missile Launcher, Defense Forces, Spare parts, Storage, Critical Component, MTBF-value		
Miscellaneous Annex 1 is to be kept secret and has been removed from public office. The basis for secrecy is Section 24 (10) of the Act on the Disclosure of the Activities of Public Authorities (621/1999).		

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Raskas raketinheitin M270 MLRS D1	5
3	Logistiikan historiaa.....	7
4	Varastointi ja sen ohjaaminen	8
4.1	Ohjausjärjestelmät	8
4.2	Varastointi ja sen ohjaaminen.....	10
4.3	Puolustusvoimien materiaalihallinta.....	13
5	Puolustusvoimien logistiikka.....	17
6	Tuotteiden elinkaari	19
6.1	Elinkaarenhallinta	19
6.2	Elinkaarenhallinta puolustusvoimissa	20
6.2.1	ISO/IEC-15288 Elinjakson vaiheistus	20
6.2.2	Puolustusvoimien suorituskyvyn elinjakson vaiheistus	22
7	Luotettavuuslaskenta ja MTBF-arvo	25
8	Varaosatarve ja sen määrittäminen	28
8.1	Kriittinen varaosa	28
8.2	Kriittisen varaosan määritelmä	28
9	Tutkimusmenetelmistä ja aineiston keräämisestä	30
10	Kyselytutkimus	31
10.1	Analyttinen hierarkiaprosessi.....	34
11	Komponenttien MTBF-arvojen määrittäminen.....	37
11.1	NSPA	37
11.2	MTBF-laskennan tuloksia	38
11.3	Analyysi MTBF-arvojen tuloksista	43

12 Poikkeusolojen varaosavarautuminen	45
13 Tulokset	46
13.1 Tutkimuskysymyksien vastauksia	46
13.2 Jatkotoimenpiteet	48
14 Pohdinta.....	50
Lähteet	52
Liitteet.....	54
Liite 1. Kappale 12. Mukana Porin prikaatin kappaleessa. Poistettu julkisesta työstä Julkl (621/1999) 24.1§:n 10k nojalla.....	54

Kuviot

Kuvio 1. Raskas raketinheitin tulitoiminnassa	5
Kuvio 2. Raskas raketinheitin tulitoiminnassa	6
Kuvio 3. Raskas raketinheitin	6
Kuvio 4. Vikataajuus ajanfunktiona	26
Kuvio 5. Varaosien priorisointi.....	31
Kuvio 6. AHP-laskentamalli kyselytutkimuksen tuloksesta	36
Kuvio 7. komponentti A MTBF-arvon kuvaaja	39
Kuvio 8. komponentti B MTBF-arvon kuvaaja	39
Kuvio 9. komponentti C MTBF-arvon kuvaaja	40
Kuvio 10. komponentti D MTBF-arvon kuvaaja.....	41
Kuvio 11. komponentti E MTBF-arvon kuvaaja	41
Kuvio 12. komponentti F MTBF-arvon kuvaaja.	42

1 Johdanto

Puolustusvoimien tehtävänä on turvata Suomen aluetta, kansan elinmahdollisuuksia ja valtiojohdon toimintavapautta, sekä puolustaa laillista yhteiskuntajärjestystä tarvittaessa sotilaallisin voimakeinoin aseellisen hyökkäyksen tai sitä vastaavan ulkoisen uhan kohdistuessa Suomeen. Puolustusvoimien tehtävät ovat seuraavat.

Suomen sotilaallinen puolustaminen, johon kuuluvat:

- a) maa-alueen, vesialueen ja ilmatilan valvominen sekä alueellisen koskemattomuuden turvaaminen
- b) kansan elinmahdollisuuksien, perusoikeuksien ja valtiojohdon toimintavapauden turvaaminen sekä laillisen yhteiskuntajärjestyksen puolustaminen
- c) sotilaskoulutuksen antaminen ja vapaaehtoisen maanpuolustuskoulutuksen ohjaaminen sekä maanpuolustustahdon edistäminen

Muiden viranomaisten tukeminen, johon kuuluvat:

- a) virka-apu yleisen järjestyksen ja turvallisuuden ylläpitämiseksi, terrorismirikosten estämiseksi ja keskeyttämiseksi sekä muuksi yhteiskunnan turvaamiseksi
- b) pelastustoimintaan osallistuminen antamalla käytettäväksi pelastustoimintaan tarvittavaa kalustoa, henkilöstöä ja asiantuntijapalveluja

Osallistuminen aluevalvontayhteistyöhön tai muuhun kansainvälisen avun antamiseen ja kansainväliseen toimintaan, mukaan lukien Euroopan unionin toiminnasta tehdyn sopimuksen 222 artiklaan tai Euroopan unionista tehdyn sopimuksen 42 artiklan 7 kohtaan perustuvaan apuun sekä osallistuminen kansainväliseen sotilaalliseen kriisinhallintaan ja sotilastehtäviin muussa kansainvälisessä kriisinhallinnassa.

(Puolustusvoimat 2020)

Rauhanaikana Puolustusvoimilla on palkattua henkilökuntaa kotimaan tehtävissä noin 12 000 henkeä, josta noin kolmasosa on siviilejä tai siviilikoulutuksen saaneita. Varusmiehiä Puolustusvoimat kouluttaa vuosittain noin 22 000.

Puolustusvoimat ylläpitää kaikissa oloissa sotilaallista valmiutta ja kehittää sitä.

Normaalioloissa Puolustusvoimien keskeisimpänä tehtävänä on suorituskykyjen kehittäminen ja ylläpito, mikä käsittää asejärjestelmien ja muiden suorituskykyjen

suunnittelun, hankinnan, ylläpidon ja poiston sekä näitä käyttävien joukkojen tuottamisen. Puolustusministeriön hallinnonalan talousarvioehdotus vuodelle 2019 on yhteensä 3 198 miljoonaa euroa. (Puolustusvoimat 2020)

Opinnäytteessäni tutkimuskysymyksenä on, miten järjestetään raskaan raketinheittimen varaosalogistiikka poikkeusoloissa. Pääkysymykseen haetaan vastauksia apukysymysten kautta kuten millaisia komponentteja kannattaa varastoida, sekä millaisia määriä? Mihin komponentit tulisi varastoida? Miten logistinen toimitusketju olisi mahdollisimman tehokas? Opinnäytteessä käsiteltävä kokonaisuus rajoittuu lähinnä alustan varaosakomponenttitarpeeseen. Koko asejärjestelmää koskeva määrittelytyö paisuttaisi työn laajuutta liiaksi ja siitä tulisi hankalasti hallittava kokonaisuus.

Työssä käytetään hyödyksi kirjallisuustutkimusta sekä analyysijä saatavilla olevasta varaosatarvetta käsittelevästä datasta. Myös järjestelmän parissa työskenteleviltä henkilöiltä kerätään tietoa haastattelu- ja kyselytutkimuksen muodossa. Näistä saatua aineistoa analysoidaan, verrataan ja muodostetaan tutkimuksen lopullinen tulos missä ja millaisia osia on syytä olla varastoituna.

2 Raskas raketinheitin M270 MLRS D1



Kuvio 1. Raskas raketinheitin tulitoiminnassa

Työskentelen raskaan raketinheitin, M270 MLRS D1 parissa järjestelmänsinöörinä. Järjestelmä on alkujaan yhdysvaltalainen ja tyypiltään M270 MLRS, raskas raketinheitinjärjestelmä. Heittimen alusta perustuu M2 Bradley-rynnäköpanssarivaunuun, johon on asennettu M269-raketinheitin. Tela-alustainen vaunu on varustettu 500 hv tehoisella dieselmoottorilla ja suurin nopeus tiellä on 64 km/h, maastossa 35 km/h. Vaunun taistelupaino on noin 25 tonnia. Vaunun pituus on noin seitsemän metriä, leveys kolme metriä ja korkeus 2,9 metriä. Raketit ovat asennettu kasetteihin, joihin mahtuu kuusi rakettia kuhunkin. Heittimeen on mahdollista ladata kaksi kasettia rinnakkain ja itsenäinen tulitoiminta on mahdollista oman paikantamislaitteiston ansiosta. Rakettien kantama on ampumatarvikkeesta riippuen 30-300 kilometriin asti ja tulinopeus on 12 rakettia minuutissa. Raskasta raketinheitintä käytetään Puolustusvoimien yhteiseen tulenkäytön tehtäviin ja operatiiviseen tulenkäyttöön sekä yhtymien taistelujen tukemiseen.



Kuvio 2. Raskas raketinheitin tulitoiminnassa



Kuvio 3. Raskas raketinheitin

3 Logistiikan historiaa

Logistiikan historiaa ei mielestäni voi ohittaa Puolustusvoimien järjestelmää käsittelevässä opinnäytetyössä.

Antiikin aikana Roomassa logistikas-nimiset upseerit hoitivat sotaväen raha- ja huoltoasioita. Käytännössä sen ajan logistiikka on tarkoittanut sotaväen majoitus- ja kuljetustaitoa sekä armeijan tarvitseman huollon järjestelyä. Nykyajan armeijassa on samaa tarkoitusta varten huoltokomppaniat ja jokaisessa komppaniassa logistiikasta vastaa vääpeli. Kreikan kielessä sana logistikos on tarkoittanut myös matemaattista eli symbolista logiikkaa tai yksinkertaisesti laskutaitoa. Sekin voi olla nykyisen logistiikka-sanan taustalla. Nykyaikaisessa merkityksessä käsite tuli käyttöön II maailmansodan aikana. Sodan jälkeen alkoi logistiikan tieteellinen tarkastelu ja siitä tuli yleisesti käytetty käsite kuljetuksia ja tuotantoa tutkivien taloustieteilijöiden ja insinöörien keskuudessa. Erityisen sysäyksen toi Korean sota 1950-luvulla, kun Yhdysvallat kävi sotaa maapallon toisella puolella, mikä tietenkin oli suuri logistinen haaste. (Logistiikan Maailma 2020)

Logistiikka (Logistics) tarkoittaa nykyään materiaalivirtojen ohjaamista raaka-aineiden alkulähteiltä tuotantoon sekä tuotteiden ja palvelujen ostamista, varastoimista ja kuljettamista siten, että tuote on käytettävissä oikeassa paikassa oikeaan aikaan ja siten, että minimoidaan kustannukset ja muut haitat, kuten negatiiviset ympäristövaikutukset tai turvallisuusriskit. Varsinaisen materiaalivirran eli kuljetusten ja varastoinnin lisäksi logistiikkaan kuuluu tieto- ja rahavirtojen kulkuun liittyvä suunnittelu sekä yhteiskunnallisten ja ympäristövaikutusten tarkastelu. (Logistiikan maailma 2020)

4 Varastointi ja sen ohjaaminen

Työssäni käsitellään tuotannohjausta varastoinnin näkökulmasta. Oman osansa varastoitavien tuotteiden määrittelyyn tuo varastoitavien tuotteiden kriittisyys. Kriittisten osien määrittelyyn käytetään hyödyksi MTBF arvoa (Mean Time Between Failures).

4.1 Ohjausjärjestelmät

Tuotannonohjauksen lähtökohtaisena tavoitteena on hallita tuotteiden toimitusajat, käyttää tuotantokapasiteettia kustannustehokkaasti, hallita vaihto-omaisuutta ja palvella asiakasta joustavasti. Tämä on erittäin tärkeää palvelulupausten täyttämiseksi ja että asiakkaalle ilmoitetuista toimitusajoista pidetään kiinni. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 56)

Logistiikan maailma julkaisussa kerrotaan toiminnanohjausjärjestelmien eli ERP-järjestelmien (Enterprise Resource Planning, sananmukaisesti yrityksen resurssien suunnittelu) tarkoittavan laajoja yrityksen ohjaamiseen tarkoitettuja, kokonaisvaltaisia tietojärjestelmiä. Tyypillistä tällaiselle järjestelmälle on, että se on integroitu: sen ytimessä on yksi yhteinen tietokanta, jota kaikki eri toiminnot käyttävät. Yhteinen tietokanta mahdollistaa tiedon läpinäkyvyyden kautta organisaation: kaikki toiminnot hyödyntävät samaa, ajantasaista tietoa. Toisaalta tämä asettaa myös vaatimuksia tiedon oikeellisuudelle: on erityisen tärkeää, että esimerkiksi perustiedot kuten materiaalien ja tuotantoresurssien tiedot ovat oikein ja ajan tasalla, ja että kirjaukset esimerkiksi materiaalisaldoihin tehdään oikein ja ajoissa. (Logistiikan maailma 2020)

Teoksessa Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa kerrotaan Materiaalien ja varastojen ohjauksen ja valvonnan vaikuttavan toiminnanohjaukseen ja tuotannon onnistumiseen monin eri tavoin. Tämä tekee varastosta saatavilla olevan ajantasaisen ja todenmukaisen tiedon päätöksenteon tueksi erittäin tärkeäksi. (Martinsuo, Mäkinen, Suomala, Lyly-Yrjänäinen 2016, 289)

Moranan (2013) mukaan toimitusketjun hallinta sisältää kaikkien hankintoihin, hankintojen muuntamiseen ja logistiikan hallintaan liittyvien toimintojen suunnittelun ja hallinnan. Tärkeää on, että se sisältää myös koordinoitua ja yhteistyötä kanavakumppaneiden kanssa, jotka voivat olla toimittajia, välittäjiä, kolmannen osapuolen palveluntarjoajia ja asiakkaita. Pohjimmiltaan toimitusketjun hallinta integroi tarjonnan ja koko yrityksen tuotteiston yhteen.

Morana (2013) toteaa myös toimitusketjun hallinnan olevan integroiva toiminto, jonka ensisijainen vastuu on yhdistää tärkeimmät liiketoiminnot ja liiketoimintaprosessit yrityksissä ja niiden välillä yhtenäiseksi ja tehokkaaksi liiketoimintamalliksi. Se sisältää kaikki edellä mainitut logistiikan hallintatoimet sekä valmistustoiminnot, ja se ohjaa prosessien ja toimintojen koordinoitua markkinoinnin, myynnin, tuotesuunnittelun, rahoituksen ja tietotekniikan kanssa ja niiden välillä.

Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise Resource Planning, ERP) tukee toiminnan- ja tuotannon ohjausta keräämällä ja välittämällä tietoja yrityksen eri toiminnoista. Järjestelmän on yleinen suuryrityksissä, mutta pienissä organisaatioissa sen käyttö on harvinaisempaa. ERP koostuu moduuleista, joista teollisuudessa käytetään yleensä hankintaa, myyntiä, taloushallintoa, tuotannonsuunnittelua ja -ohjausta, jakelua sekä kustannuslaskentaa. Laadun- ja henkilöstönhallinta ovat harvemmin käytössä olevia moduuleita. Moduulien ansiosta ERP:n kaikkia ominaisuuksia ei tarvitse ottaa kerralla käyttöön. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 56)

Toiminnanohjausjärjestelmät tukevat myös suunnittelua. ERP auttaa sekä strategisissa että operatiivisissa toiminnoissa, kuten jakeluverkoston rakenteen ja myynnin suunnittelussa tai reitityksen ja valmistuserien suunnittelussa. ERP siis yhdistää yrityksen keskeiset toiminnot, prosessit, kirjanpidon ja toimintatavat. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 56-57)

Materiaalinhjauksen kannalta toiminnanohjauksen ytimessä on materiaalien tarvelaskenta eli MRP (Material resource planning). Nykyaikainen ERP onkin pidemmän kehityskaaren tulos: useat järjestelmät ovat lähteneet tarvelaskennasta, jonka ympärille on kehitetty lisää tuotannonohjaustoiminnallisuutta ja toisaalta taloushallinnon

toimintoja. Näin toiminnanohjausjärjestelmät ovat kasvaneet kokonaisvaltaisiksi järjestelmiksi, jotka sisältävät monia tai jopa kaikki yrityksen keskeisimmät toiminnot. Logistiikan maailma (2020) toteaa toiminnanohjausjärjestelmillä pyrittävän parantamaan toiminnan tehokkuutta (esimerkiksi päällekkäisen työn karsiminen ja kapasiteetin parempi käyttöaste), taloudellisuutta (tarkemman materiaalihjauksen ja alhaisempien varastojen mahdollistaminen, resurssien parempi käyttö), asiakaspalvelua (tietoon perustuva toimitusaikojen lupaus, hyvä toimitusvarmuus) sekä läpinäkyvyyttä (sama tieto käytössä eri toiminnoissa). (Logistiikan Maailma 2020)

Tuotannon ohjausperiaatteita on niin sanotut työntö- ja imuohjaus. Työntöohjauksessa tuotteet valmistetaan suunnitellun valmistusaikataulun mukaisesti, ja sen perusteella ajoitetaan materiaalitoimitukset ja varastotäydennykset. Tällainen toiminta luonnollisesti edellyttää ennakointia. Imuohjaus tarkoittaa sitä, että materiaalivirta aktivoidaan tulevaisuuden tarpeiden mukaan. Tällöin tehdään vain se mitä seuraava toimipiste tarvitsee eli kyse on tarveohjautuvuudesta. Imuperiaatteella toimitaan silloin kun materiaaleja ja kapasiteettia on riittävästi tai kun eri vaiheiden välillä on vähän vaihtelua. Työntöperiaate puolestaan soveltuu silloin, kun materiaalia tai kapasiteettia on rajoitetusti. Tällöin resurssien käytön optimointi edellyttää keskitettyä suunnittelua. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 57-58)

4.2 Varastointi ja sen ohjaaminen

Termillä varasto voidaan tarkoittaa varastorakennusta (warehouse) ja –tiloja tai varastossa olevaa tavaraa (stock, inventory). Varastointi puolestaan tarkoittaa varastotoimintaa (warehousing, stock keeping) ja varastotoimintoja (warehouse operations). Liiketoimintana varastointia harjoittavat logistiikkapalveluyritykset tarjoten asiakkailleen varastointipalveluja. Toimitusketjun muut yritykset varastoivat tuotteita erisyydestä ja varastointiin liittyvät päätökset ja varastointistrategia ovat yhteydessä yrityksen muihin päätöksiin ja –strategioihin, selkeimmin tuotanto- ja kuljetusstrategioihin. (Logistiikan Maailma)

Varaston kustannuksista henkilöstökustannusten osuus on huomattavan suuri, jopa yli puolet. Siksi henkilöstön työtehon parantaminen on hyvin tärkeää, ja siihen tähdätään varastohallintajärjestelmien avulla. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 62)

Hyvä varastohallintajärjestelmä rekisteröi kaikki kyseisiin toimintoihin liittyvät tapahtumat. Esimerkiksi tekstiiliteollisuudessa tavarat vastaanotetaan järjestelmässä työmääräimen, tai ostotilauksen numerolla. Varastohallintajärjestelmä sisältyy yleensä koko yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään. Järjestelmän avulla voidaan myös määrittää tuotteiden tarkka varastopaikka ja sijainti. Varastohallintajärjestelmien avulla muun muassa keräilyä voidaan tehostaa, tilauksia ja tuotteita jäljittää ja virheiden määrää vähentää. Järjestelmät pyrkivät vähentämään tavarankäsittelyn minimiin ja nostamaan tilausten käsittelyn maksimiin. Varastohallinnassa hyödynnetään viivakodeja sekä RFID– (Radio Frequency Identification Data eli saattomuisti, älytarra tai tägi) ja puheohjausteknologioita. Niiden ansiosta materiaalien, pääoman ja henkilöstön käyttö tehostuu, palvelutaso ja toiminnan laatu paranevat sekä turha työ vähenee. Jäljitettävyystarpeen kasvaessa toimitusketjun standardit ovat yhä tärkeämmässä roolissa. (Logistiikan maailma)

Varastohallinnan tavoitteena on hallita varastotasoja. Hallinnassa otetaan huomioon varastointi- ja ohjauskustannukset sekä palvelutasovaatimukset. Varastohallinnassa ratkaistaan varaston täydennykset ja niiden eräkoot. Varasto-ohjattua logistiikkaa tarvitaan, kun toimitusaikavaatimukset ovat tiukkoja, tuotteita ei kannata valmistaa pienerissä ja kun tuotteiden kysyntä on tasaista ja ennustettavaa. Varasto-ohjattu logistiikka soveltuu suurten määrien ohjaamiseen. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 62)

Usein varastointi nähdään ainoastaan lisäkustannuksia aiheuttavana, ei lainkaan lisäarvoa tuottavana toimintona. Lisäarvolla tarkoitetaan jotakin, mistä asiakas on valmis maksamaan. Varastointi on kuitenkin useissa tapauksissa välttämätöntä ja oikein suunniteltuna se myös tuottaa lisäarvoa. Keskeinen periaate varastoinnissa on se, että toimitusketjun kaikissa vaiheissa varastoja pyritään pitämään mahdollisimman

vähän. Tämä johtuu siitä, että varastoihin sitoutuu pääomaa (vrt. pääoma- eli rahavirta), joka olisi tuottavampaa vapauttaa muuhun tarpeeseen. Tässä mielessä varastoinnin rooli onkin muuttunut yritysten pyrkiessä kustannustehokkaampaan toimintaan. (Logistiikan maailma)

Varastoinnille on useita syitä. Varastoja voidaan pitää esimerkiksi siksi, että halutaan varmistaa taloudelliset eräkoot ja turvata saatavuus. Lisäksi varastoja on siksi että, ostetut tavaraerät on varastoitava, halutaan turvata hyvä asiakaspalvelu, varastointi osana transitokuljetutusta, tuotevalikoima ja asiakaskunta ovat laajat, toimittaja on epäluotettava, raaka-aineen hintojen ennakoidaan nousevan, tai raaka-ainetta on saatavissa vain osan vuotta tai sitä ei ole jatkossa lainkaan saatavissa. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 80)

Varastonohjauksella hallitaan varastoon sitoutunutta pääomaa ja materiaalivirtoja. Varastonohjauksen perustehtäviä ovat kierto – ja varmuusvarastojen hallinta. Materiaalinohjausta toteutetaan imu- tai työntöperiaatteilla. Ohjauksessa olennaista on, valmistetaanko tilauksesta vai tuotetaanko varastoon. Varastonohjausjärjestelmät voidaan luokitella määrä-, aika-, tuotanto- ja jakeluperusteisiin. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 87)

Määräperusteisia järjestelmiä ovat kaksilaatikko- eli niin sanottu two-bin-järjestelmä, maksimivarastot ja tilaustarpeen hyödyntäminen. Kaksilaatikkomenetelmä perustuu siihen, että tuotteita tilataan, kun ne loppuvat ensimmäisestä laatikosta. Toimitusajana käytetään toisessa laatikossa olevia tuotteita. Tämä yksinkertainen ohjausmenetelmä edellyttää varastolta hyvää järjestystä. Laatikkojärjestelmä voidaan varustaa myös RFID-tunnisteilla, jolloin tiedot puuttuvista komponenteista voidaan siirtää joko suoraan yrityksen tietojärjestelmään tai komponenttitoimittajalle. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 87)

Minimi-maksimimenetelmässä minimi- ja maksimivarastotasot on määriteltä ja varastoja täydennetään niiden perusteella. Minimivarasto on tilauspiste eli varmuusvarasto, johon lisätään hankinta-ajan aikainen keskimääräinen varasto. Maksimivarasto

puolestaan lasketaan lisäämällä varmuusvarastoon tilausvälin ja hankinta-ajan aikainen kulutus. Tilauterä lasketaan siten, että maksimivarastosta vähennetään tarkasteluhetken varastomäärä ja saapumatta olevat ostotilaukset. Maksimivarastolla tarkoitetaan siis sitä, että varastossa on kyseistä tuotetta aina maksimimäärä. Tällainen varastonohjausjärjestelmä on varsin harvinainen, sillä se sitoo paljon resursseja. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 88)

Tilauspistejärjestelmässä on määriteltä se varaston määrä, jolloin tilaus lähetetään toimittajalle. Tilauspiste määritellään nimikkeen menekkiennusteen perusteella siten, että täydennystilaus tehdään, kun varastossa on ennusteen menekin mukaisia nimikkeitä enää täydennystoimituksen toimitusajan vaatima määrä. Määräperusteisten ohjausjärjestelmien etuina ovat taloudelliset eräkoot ja se, että valvonta ohjautuu kulutuksen mukaan. Haittapuolena todettakoon, että menetelmät eivät anna mahdollisuutta tilausten yhdistelyyn ja niiden hyödyntämiseen esimerkiksi alennusten kautta. (Ritvanen, Inkiläinen, Von Bell, Santala 2011, 89)

4.3 Puolustusvoimien materiaalihallinta

Kappaleessa on käytetty lähteenä Puolustusvoimien materiaalihallinnasta laadittuja oppaita, määräyksiä ja julkaisuja. Osa julkaisuista on käyttörajoitettu ST IV julkisuuslaki 24.1§ 10k perusteella.

Puolustusvoimissa materiaali on aina jonkin hallintoyksikön taikka varaston hallussa. Hallintoyksiköllä voidaan tarkoittaa jotain instanssia kuten joukkoyksikköä taikka puolustushallinnon laitosta. Materiaalikirjanpito on hallintoyksikön taikka varaston hallinnassa olevaa irtainta koskevien tietojen, kuten määrän, haltijan, laadun, yksilötiedon, käyttötarkoituksen, sijainnin ja arvon sekä niissä tapahtuvien muutosten järjestelmällistä rekisteröintiä ja seurantaa sekä näiden tietojen saattamista eri käyttötarkoitusten edellyttämään muotoon. Materiaalitoiminnoilla tarkoitetaan materiaalin hankintaa, varastointiin, kuljetukseen, lainaukseen, jakeluun, käyttöön, kunnossapitoon, myyntiin, vuokraukseen, hylkäykseen ja poistoon liittyviä toimintoja ja tehtäviä.

Materiaali on varastoituna taikka käytössä sijoitettuna PVSAP-järjestelmän varastoihin taikka lainattuna henkilöille heidän vastuulleen palvelus- ja työtehtävien suorittamista varten. Käytännöllisesti katsoen materiaalista on jatkuva tieto, kenen hallussa ja millaisia määriä sitä on. Varastojen tehtävänä on vastaanottaa, varastoida, jakaa ja lainata yksikön materiaalia. Puolustusvoimilla on oma ohjeistuksensa erilaisten määräysten ja käsikirjojen muodossa. Erikseen määrätty huollon henkilöt ylläpitävät PVSAP-järjestelmän varastokarttoja siitä annettujen ohjeiden mukaisesti sekä ohjaa ja valvoo niiden käyttöä.

Materiaalin vastaanotto ja lähettäminen toteutetaan erikseen määriteltyjen ja valtuutettujen henkilöiden toimesta. Kaikki materiaalin käsittely perustuu PVSAP-tietojärjestelmän tilaukseen, lähetysmääräykseen tai hallinnolliseen määräykseen. Tällaisista hallinnollisista määräyksistä täytyy olla aina tiedossa asiakirjanumero, joka lisätään järjestelmään. Materiaalitalaukset perustuvat myönnettyihin täydennysoikeuksiin. Lisäksi materiaalin tarve on peruste täydennystilausten laadinnalle. Materiaalitäydennysten laatimiseen käytetään PVSAP-järjestelmää. Toimittaessa PVSAP-järjestelmällä hallintoyksikön varastot osoittavat tilauksen hallintoyksikön tilausvarastoon, jossa tilauksen perusteet tarkistetaan ja tilaus käännetään tukisuhteiden mukaan oikeaan Logistiikkarykmenttiin. Aikanaan tilattu materiaali otetaan vastaan tilaavaan varastoon. Kunnossapidon materiaalitäydennykset, eli erilaisten varaosien tilaaminen koneisiin ja laitteisiin tehdään myös PVSAP-järjestelmällä samoin perustein kuten muissakin täydennystilauksissa. Lainattaessa materiaalia varastoilta laaditaan lainasta tosite taikka käsikuitti, joka kertoo lainatun materiaalin määrän sekä kuka lainan on tehnyt. Lainat uusitaan kerran vuodessa, jos materiaalia ei ole palautettu varastoon takaisin.

Olennaisena osana materiaalihallintaan liittyvät materiaalivalvonta ja -tarkastukset. Materiaalivalvontasuunnitelmat laaditaan kussakin hallintoyksikössä osana resursien- ja toiminnansuunnittelua. Materiaalivalvonta ja sen todentaminen ovat osa jokapäiväistä hallintoyksikön toimintaa ja siitä vastaavat materiaalivastuuseen nimetyt henkilöt. Materiaalitoimintoihin voidaan kohdistaa seuraavanlaisia tarkastuksia, valvontatarkastukset, tekniset ja toiminnalliset tarkastukset, erityistarkastukset, tehtä-

vien vaihtoon liittyvät tarkastukset ja erikoistarkastukset. Suunnitelmanmukaiset tarkastukset ovat käskettyjä erillisellä asiakirjalla, jonka laatimisesta vastaa tarkastuksesta vastaava henkilö. Erilaiset tarkastukset ovat siis osa materiaalivalvontasuunnitelmaa, joissa on huomioitu hallintoyksiköiden sisäiset todentavat tarkistukset sekä hallintoyksikköön kohdistuvat muut tarkastukset.

Materiaalihallintaa liittyy myöskin varastojen inventointi. Pääsääntöisesti kaikki varastossa oleva materiaali lasketaan kerran vuodessa. Laskenta toteutetaan vertaamalla materiaalikirjanpidossa olevaa määrää varastoissa, käytössä ja lainassa olevan materiaalin määrään. Materiaali lasketaan tarkkuudella, jolla materiaali on materiaalikirjanpidossa. Laskennasta vastaavat varastovastuulliset henkilöt taikka jokin muu suorittajaksi määritelty taho. Materiaalin vastaanottotilanteissa materiaali lasketaan aina vastaanottajan toimesta ja sen tulos vahvistetaan allekirjoituksella. Tällöin materiaalivestuu siirtyy luovuttajalta vastaanottajalle. Varastosierrot ja laskennan tulokset kirjataan aina PVSAP-järjestelmään. Materiaalivalvontavastuista päätetään kussakin hallintoyksikössä erikseen.

Materiaalivestuu koskettaa siis kaikkia Puolustusvoimissa palvelevia henkilöitä. Tämän vastuun toteutuminen edellyttää, että materiaali on aina jonkun henkilön taikka organisaation vastuulla. Vastuun ja sen siirtymisen on oltava aina todennettavissa. Jokainen Puolustusvoimien palveluksessa oleva henkilö on vastuussa henkilökohtaiseen käyttöönsä taikka hoitoonsa annetun valtion omaisuuden asianmukaisesta ja taloudellisesta käytöstä, hoidosta ja säilytyksestä. Esimiesasemassa olevat henkilöt vastaavat lisäksi alaistensa vastuulla olevan irtaimen omaisuuden valvonnan toteutuksesta. Materiaalivestuu on ensisijaisesti sillä, joka on lainannut materiaalin henkilökohtaiselle vastuulleen tai jolle vastuu yksittäisestä materiaalista tai varastosta on määrätty. Lisäksi käyttäjällä on materiaalivestuu, jos materiaali on hänen hallussaan ja valvonnassaan. Materiaalivestuuassa oleva vastaa siitä, että materiaali on tallessa ja asianmukaisesti huollettu.

Asevelvollisilla on materiaalivestuu henkilökohtaisesta kullekin käyttöön annetusta valtion omaisuudesta. Materiaalivestuuassa oleva henkilö siis vastaa siitä, että materi-

aali pysyy tallessa ja sitä hoidetaan asianmukaisesti. Esimiesasemassa oleva asevelvollinen on valvontavastuussa johtamansa joukon käyttöön annetusta valtion omaisuudesta sekä joukkoon kuuluvien henkilöiden hallussa olevasta valtion omaisuudesta.

5 Puolustusvoimien logistiikka

Kappaleessa on käytetty lähteenä PVHMSK – PE PUOLUSTUSVOIMIEN LOGISTIikka 2015 määräystä. Julkaisu on käyttörajoitettu ST IV julkisuuslaki 24.1§ 10k perusteella.

Puolustusvoimien logistiikka on yleisesti kykyä luoda ja ylläpitää joukkojen ja henkilöstön toimintakykyä sekä hankkia, tuottaa, varastoida, jakaa, modernisoida sekä pitää kunnossa ja poistaa käytöstä materiaalia. Myös joukkojen ja henkilöstön käyttöön tarkoitettujen tarkoituksenmukaisten tilojen ja alueiden järjestäminen katsotaan liittyvän logistiikkaan. Kykyyn kuuluvat olennaisesti myös tuotteiden ja palveluiden tilaus-toimitusketjut sekä niiden hallinnointi. Tilaus-toimitusketju tuottaa asiakkaan ilmoittaman tarpeen perusteella tarvittavat materiaalit taikka palvelut.

Logistiikka toimialana ulottuu läpi koko puolustusvoimien rakenteen Pääesikunnasta aina joukko-osastotasalle saakka. Kaikkia toimintoja ei toteuteta kaikissa hallintoyksiköissä, toimintaympäristöissä taikka turvallisuustilanteissa. Logistiikan aloja voidaan yhdistää eri hallintotasoilla tarkoituksenmukaisiksi toiminnallisiksi kokonaisuuksiksi. Puolustusvoimien logistiikkajärjestelmän tehtävänä on kaikissa valmiustiloissa ja kaikissa toimintaympäristöissä luoda materiaaliset edellytykset suorituskykyjen käytölle ja erilaisten operaatioiden käytölle sekä ylläpitää ja palauttaa tarvittavilta osin toimintakykyä. Logistiikkajärjestelmä ei muodosta irrallista kokonaisuutta ja logistiikan suorituskyvyn tavoitteena on tukea kaikkien puolustushaarojen suorituskykyä sekä yhteistä suorituskykyä.

Puolustusvoimien logistiikkajärjestelmä muodostuu sotilaskomponentista sekä siviilikomponentista. Logistiikkajärjestelmä on yhtenäinen tuotanto-, tukeutumis- ja palveluverkosto, joka toimii ja verkottuu sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Toiminnasta ja turvallisuustilanteesta johtuen eri komponenttien merkitys ja määrä vaihtelevat. Sotilaskomponentilla ylläpidetään tarkoituksenmukainen tukeutumis- ja tuotantorakenne, sekä niiden tarvitsema osaaminen ja välineet kuten esimerkiksi kenttähuolto. Siviilikomponentilla ylläpidetään huoltovarmuutta ja luodaan toimintaedellytyksiä sekä tuetaan sotilaskomponentin toimintaa.

Logistiikan johtaminen muodostuu toimintatavoista, johtamiseen tarvittavasta henkilöstöstä ja sen osaamisesta, tiedosta, johtamisrakenteesta sekä -järjestelmästä. Logistiikan johtaminen yhdistää logistiikan alat osaksi puolustusvoimien kokonaistoimintaa ja sen tukemista. Logistiikan johtamisessa hyödynnetään toimialateitä. sen merkitys korostuu asioiden valmistelussa ja normiohjauksessa. Logistiikan operatiivisella johtamisella määritetään se, mitä logistiikan suorituskyvyillä on saatava aikaan. Järjestelyiden johtamisella tarkoitetaan niiden käytännön toimenpiteiden johtamista, joilla toimeenpannaan operaation tai toiminnan vaatima logistinen tuki. Järjestelyjen johtamista tapahtuu kaikilla logistiikan johtamistasoilla sen korostuessa alimmilla organisaatiotasolla.

Johtamisjärjestelmillä tuetaan logistiikan johtamista mahdollistamalla oikea logistiikan tilannekuva. Johtamisjärjestelmillä luodaan yhteydet eri toimijoiden ja komponenttien välille. Halutunlainen tuki saavutetaan hyödyntämällä erilaisia johtamisjärjestelmiä ja johtamisjärjestelmäpalveluita, kuten tieto- ja puhelinjärjestelmät ja -palvelut. Logistiikan johtamisjärjestelmäpalveluita kehitetään logistiikan johtamisen ja toimialojen tarpeesta. Kehittämisessä ja ylläpidossa tukeudutaan tarpeellisiin palveluntuottajiin.

Logistiikan normaaliolojen johtaminen perustuu tulosohjaukseen. Tulosohjaus toteutetaan puolustusvoimien toiminnan ja resurssien suunnittelun ja seurannan prosesseissa, joissa määritellään resurssit ja tulostavoitteet. Toiminnan ja resurssien suunnittelua ja seurantaa tukeva työkalu on PVSAP-järjestelmä erilaisine toiminnallisuuksineen.

6 Tuotteiden elinkaari

Tuotteilla on lähtökohtaisesti jonkinlainen elinkaari. Tämä riippuu pitkälti tuotteesta. Elintarvikkeilla on lyhyempi elinkaari kuin esimerkiksi varaosalla. Koneilla ja laitteilla on elinkaari, jota voidaan jatkaa esimerkiksi päivittämällä laitetta. Tämä on hyvin yleistä esimerkiksi opinnäytteen kohteena olevan asejärjestelmän kohdalla. Päivittämällä järjestelmää sen käytettävyyttä ja käyttöikää voidaan pidentää huomattavasti.

6.1 Elinkaarenhallinta

Tuotteen elinkaarihallinta koostuu kolmesta osa-alueesta: tuotteesta, elinkaaresta ja siihen liittyvästä hallinnasta. Tuote on hyödyke, jota yritys tarjoaa asiakkailleen. Sen merkitys tuotteen elinkaarihallinnassa on suuri: ilman tuotetta ei yrityksellä ole liikevaihtoa eikä asiakkaita. Yrityksen liikevaihto koostuu jatkuvasta uusien tuotteiden kehittämisestä ja vanhojen tuotteiden päivittämisestä. Tuote voi olla konkreettinen esine, asia tai palvelu. (Stark 2011, 5)

Massimo Pica määrittää kirjassaan konseptivaiheen käynnistämistä päätöksen seurauksena järjestelmäratkaisun toteuttamisesta tunnistetun valmiustarpeen toteuttamiseksi ja näin päättyvän tämän vaiheen järjestelmäratkaisun vaatimusten määrittelyyn. ”Tarkoituksena on arvioida ehdotetun järjestelmän tai olemassa olevan järjestelmän merkittävän päivityksen tarpeet, mahdolliset riskit ja kustannushyöty ennen resurssien sitoutumista. Yksi tai useampi vaihtoehtoinen ratkaisu tunnistetun tarpeen tai konseptin täyttämiseksi suunnitellaan analyysin, toteutettavuusarviointien, arvioiden (kuten kustannukset, aikataulu, markkinatieto ja logistiikka), kompromissitutkimusten sekä kokeellisen tai prototyypin kehittämisen ja esittelyn avulla”. (Pica 2016, 12)

Päivittäisissä päätöksissä, joita tarvitaan uusien järjestelmien käyttöönoton tai olemassa olevien järjestelmien muuttamisen hallitsemiseksi, otetaan usein huomioon vain ne tekniset ominaisuudet, joita pidetään merkittävinä järjestelmän odotetun suorituskyvyn kannalta. Taloudellisesta näkökulmasta eniten huomiota kiinnitetään

alkuperäisiin hankintakustannuksiin, kun taas huomattavasti vähemmän huomiota kiinnitetään useissa tapauksissa kustannuksiin, jotka liittyvät seuraaviin elinkaarivaiheisiin, nimittäin käyttöasteeseen ja. Itse asiassa käyttö- ja tukikustannuksilla on usein merkittävä rooli järjestelmien elinkaarikustannuksissa; Lisäksi ne määräytyvät selvästi järjestelmän eliniän alkaessa tapahtuvissa päätöksentekoprosesseissa. (Pica 2016, 23)

Varaosien elinkaari on huomattavan pitkä. Yleensä oikein varastoituina ne säilyvät vuosia. Ainoastaan jotkin tiettyjä aineita sisältävät osat saattavat pilaantua ja ne joudutaankin hylkäämään ennen aikojaan. Elinkaaren hallinnasta mainitaan Starkin (2021) kirjassa ”Tuotteen elinkaaren hallinta (PLM, Product Lifecycle Management) on liiketoiminta, jolla hallitaan tehokkaimmin yrityksen tuotteita koko niiden elinkaaren ajan. Tuotteen ensimmäisestä ideasta aina siihen asti, kunnes sen elinkaari päättyy ja se hävitetään.”

6.2 Elinkaarenhallinta puolustusvoimissa

Puolustusvoimissa elinkaaren hallinta perustuu ISO/IEC-15288 standardiin. Puolustusvoimissa käytetään myös edellä mainittua standardia soveltavaa suorituskypvyn elinjakson mallia, jossa tarkastellaan myös järjestelmien operointia ja käytöstä poistamista.

6.2.1 ISO/IEC-15288 Elinjakson vaiheistus

Kosola kuvaa kirjassaan (Kosola 2007,70) ISO/IEC-15288 standardin määrittävän, että elinjakson hallinta tulee jakaa vaiheisiin, joista vastaa selkeästi yksi organisaatio. Kukin vaiheen jälkeen tehdään päätös siitä, ryhdytäänkö seuraavaa vaihetta toteuttamaan ja millä perusteilla seuraava vaihe viedään läpi. Kussakin vaiheessa tehdyt päätökset ja suunnitelmat sekä seuraavista vaiheista tehdyt olettamukset dokumentoidaan. Standardin mukaan seuraavilla vaiheilla tulee täysi oikeus saada haltuunsa aiemmissa vaiheissa tehdyt suunnitelmat ja päätökset. Tämä antaa seuraavalle vaiheelle mahdollisuudet löytää tarvittaessa tarkennuksia annettuihin perusteisiin sekä auttaa perusteisiin muutoksia aiheuttavien asioiden tunnistamisessa.

ISO/IEC-15288 standardi ei määritä sitä mitkä elinjakson vaiheet ovat, mutta tarjoaa esimerkkinä yhden tavan vaiheistaa elinjakso kuuteen vaiheeseen. Kosola kuvaa teoksessaan (Kosola 2007) seuraavasti standardin esimerkkivaiheistusta.

1. Konseptivaihe
2. Kehitysvaihe
3. Tuotantovaihe
4. Käyttövaihe
5. Tukivaihe
6. Hylkäysvaihe

Konseptivaihe alkaa tarpeen tunnistamisesta. Vaiheessa kehitetään vaihtoehtoisia tapoja täyttää tarve tutkimalla mahdollisia toteutusvaihtoehtoja, tekemällä kustannus ja aikatauluarvioita, kustannus/hyötysuhdearvioita sekä järjestämällä kokeiluja, kehittämällä teknologiademonstraattoreita ja hankkimalla prototyyppejä. Tämä vaihe tuottaa suorituskykyvaatimukset, operatiivisen konseptin, toteutettavuusarvion, alustavat järjestelmävaatimukset, karkeat päätason luonnostelmat järjestelmän arkkitehtuurista, elinjaksokustannus- ja henkilöresurssitarvelaskelmat sekä alustavan hankeaikataulun. Yksi tärkeimmistä vaiheeseen sisältyvistä päätöksistä on se, ryhdytäänkö konseptia toteuttamaan vai keskeytetäänkö työ.

Kehitysvaihe alkaa järjestelmävaatimusten tarkentamisella ja järjestelmäarkkitehtuurin laadinnalla. Kehitysvaiheessa jalostetaan konseptivaiheen hahmotelmat ja vaatimuskuvaukset järjestelmän toteuttamisen mahdollistaviksi suunnitelmiksi. Tässä vaiheessa määritellään rajapinnat sekä kuvataan järjestelmän tuotannon, koulutuksen ja tukijärjestelmien vaatimukset. Vaihe tuottaa teknisen tuotedokumentaation, prototyypin tai lopullisen sarjatuotantovalmiin järjestelmän, käyttö- ja kunnossapitodokumentaation sekä kustannusarviot myöhemmistä vaiheista, siis elinjaksokustannuslaskelmat.

Tuotantovaihe alkaa kehitysvaiheessa luodun tuotteen hyväksymisellä tuotantoon. Vaiheessa rakennetaan, testataan ja hyväksytään varsinainen operatiivinen järjestelmä sekä tukeutumisjärjestelmät, integroidaan ja asennetaan järjestelmät ja luovutetaan ne asiakkaalle.

Käyttö- ja tukivaihe alkavat käyttöönoton jälkeen ja päättyvät käytöstä poistamiseen. Nämä kaksi vaihetta ovat todellisuudessa saman aikaisesti tehtäviä rinnakkaisia toimintoja, joten Standardissa on tässä kohdin looginen ristiriita. Näiden vaiheiden aikana toteutetaan järjestelmän käytön vaatima logistiikka, kunnossapito ja muut tukipalvelut. Viimeisenä vaiheena on hylkäämisvaihe, jolloin järjestelmän käytöstä luovutaan ja tukeutumisjärjestelmät puretaan.

6.2.2 Puolustusvoimien suorituskyvyn elinjakson vaiheistus

Puolustusvoimien elinjaksomallin vaiheet perustuvat ISO/IEC-15288-standarin soveltamiseen hankeohjausjärjestelmän määrittämissä puitteissa. Elinjaksohallintaa tukemaan on kehitetty oma auditointijärjestelmä, jolla tuetaan hankkeen valmistelua ja toteutusta sekä tuotetaan hankkeen ohjaamiseen tarvittavaa tietoa.

Kosola kuvaa kirjassaan (Kosola 2007, 74) puolustusvoimien suorituskyvyn elinjakson vaiheistusta seuraavanlaisella jaottelulla. Vaiheistuksen vakiintunut yleisesti käytetty lyhenne on IESROP.

1. Ideointi
2. Esisuunnittelu
3. Suunnittelu
4. Rakentaminen
5. Operointi
6. Purku

Ideointivaihe on hankeohjausjärjestelmän mukainen konseptivaihe, jossa luodaan useita erilaisia vaihtoehtoja suorituskykytarpeen täyttämiseksi. Kun kehittämisohjelmassa kuvatut suorituskykyvaatimukset on hyväksytty, kehittämisohjelman omistaja käskee vaihtoehtoisten konseptien tuottamisen. Ideointivaiheen lopussa valitaan konsepti, jota esitetään toteutettavaksi sekä laaditaan hankesuunnitelmaluonnos.

Ideointivaiheen jälkeen suoritetaan elinjaksoauditointi 1, jossa tarkastetaan hankkeen käynnistymisedellytykset. Auditointi tarkastetaan erityisesti, ollaanko hankkeessa tekemässä oikeaa asiaa ja sopiiko ideointivaiheessa hahmoteltu hanke yhteen kehittämisohjelman muiden hankkeiden sekä muiden kehittämisohjelman hankkei-

den kanssa. Tavoitteena on siten suorituskyykyjen ja konseptien koordinointi kehittämisohjelman sisällä ja eri kehittämisohjelmien välillä. Elinjaksoauditoinnin perusteella tehdään hankepäätös, eli päätetään, ryhdytäänkö hankkeen esisuunnittelua toteuttamaan. Ohjeistuksen mukaan tietopyyntö teollisuudelle valmistellaan jo esisuunnitteluvaiheessa. Jotta tietopyyntöön saataisiin riittävän luotettavat vastaukset, tulee tietopyynnössä kuvata haettava järjestelmä riittävän tarkasti. Operatiivisen konseptin, suorituskyykyvaatimusten, tukeutumiskonseptin sekä päätason järjestelmäärkitehtuurin, elinjaksosuunnitelmien ja keskeisten järjestelmävaatimusten tulee olla selvillä. Jotta kaikki edellä kuvattu olisi mahdollista tulee järjestelmäsuunnittelun ensimmäinen kierros, eli järjestelmätason suunnittelu, käynnistää jo hankkeen esisuunnitteluvaiheessa.

Ennen hankkeen suunnittelun käynnistymistä suoritetaan elinjaksoauditointi 2, jossa varmistetaan hankevalmius. Auditointi tarkastelee erityisesti sitä, ovatko suunnitelmat realistiset ja ollaanko tekemässä asioita oikein. Auditoinnissa siis varmistetaan, että suorituskyykyvaatimukset, operatiivinen konsepti, tukeutumiskonsepti, järjestelmävaatimukset, päätason järjestelmäärkitehtuuri sekä konfiguraationhallinta- ja elinjaksonhallintasuunnitelmat ovat olemassa ja riittävän laadukkaita hankinnan ja muiden toteutusvaiheen toimenpiteiden käynnistämiseksi. Suunnitteluvaiheessa valmistellaan tarjouspyyntö, joten suunnitteluvaiheen tuloksena on tarkka hanke-, hankinta- ja järjestelmäsuunnitelma.

Ennen rakentamisvaiheen aloittamista suoritetaan elinjaksoauditointi 3, jossa tarkastellaan erityisesti sitä, täyttääkö suunniteltu toteutus asetetut suorituskyykyvaatimukset ja hallinnolliset määräykset hankkeiden toteuttamisesta. Auditoinnin perusteella tehdään päätös siitä, ryhdytäänkö suorituskyykyä rakentamaan. Jos hanketta päätetään viedä eteenpäin, sille haetaan tilausvaltuusrahoitus. Kun hankinnan toteuttamisen vaatima rahoitus on selvä, laaditaan hankintaesitys, jolla materiaali ostetaan. Rakentamisvaiheessa siis itseasiassa vain tehdään kaupalliset ja hallinnolliset toimenpiteet jo valmiiksi suunnitellun ja neuvotellun sopimuksen allekirjoittamiseksi. Tämän lisäksi valvotaan ja ohjataan tuotantoa sekä toimeenpannaan esisuunnittelu- ja suunnitteluvaiheiden aikana laaditut toimenpidesuunnitelmat. Rakentamisvaihe päät-

tään elinjaksoauditointi 4:ään, jossa varmistetaan hankkeen toteutuminen hankesuunnitelman mukaan sekä tarkastellaan erityisesti sitä, miten hankkeelle asetetut suorituskykyvaatimukset ovat täyttyneet.

Operointivaiheessa osa suorituskyvystä on reservissä, eli järjestelmät valmiusvarastoissa ja käyttöhenkilöstö reservissä. Osa järjestelmästä on operatiivisessa käytössä ja osa koulutuskäytössä. Huomioitavaa on, että operointivaiheeseen siirrytään heti kun ensimmäiset järjestelmät ovat koulutuskäytössä, vaikka suorituskyvyllä ei voidakaan operoida ennen kuin on tuotettu riittävästi osaavia joukkoja.

Purkuvaiheessa järjestelmän käytöstä, koulutuksesta ja ylläpidosta luovutaan, järjestelmä hylätään ja sen elementit käytetään uudelleen muihin järjestelmiin, romutetaan, museoidaan tai myydään muille käyttäjille.

Puolustusvoimien tärkein tehtävä ja olemassaolon oikeutus on luoda ja ylläpitää uskottavaa puolustuskykyä sekä tarvittaessa sitä käyttämällä ennaltaehkäistä ja torjua maattamme vastaan kohdistuvat sotilaalliset uhat. Yhtenä merkittävänä kulmakivenä on määrittää ja ominaisuuksiltaan riittävä sekä toimintavarma sotavarustus, jota osataan käyttää oikein ja jota on vara ostaa ja myös omistaa. Näillä edellä kuvatuilla prosesseilla hallitaan Puolustusvoimien materiaaleja ja kaikkia suorituskykyjä ja mahdollistetaan edellä kuvatun mukainen toiminta. Elinkaaren aikaisen seurannan ja järjestelmien kierrättämisen tavoitteena on varmistaa järjestelmien moitteeton toiminta. Seurannan olennaisena osana suoritetaan erittäin laajaa kunnonvalvontaa varastoiduille järjestelmille sekä ampumatarvikkeille ja räjähteille.

7 Luotettavuuslaskenta ja MTBF-arvo

Luotettavuuden määrittely on osa teknistä suunnittelua, jolla korostetaan laitteiston kykyä toimia ilman vikatiloja. Luotettavuus kuvaa järjestelmän tai komponentin kykyä toimia määrätyissä olosuhteissa tietyn ajan vikaantumatta. Luotettavuus voidaan liittää myöskin läheisesti osaksi komponentin tai järjestelmän kykyä toimia tietyllä hetkellä tai tietyllä aikavälillä. Speaksin mukaan luotettavuus määritellään todennäköisyydellä, että laite suorittaa vaaditun toiminnon määrätyin ehdoin tietyn ajan.

(Speaks, 2)

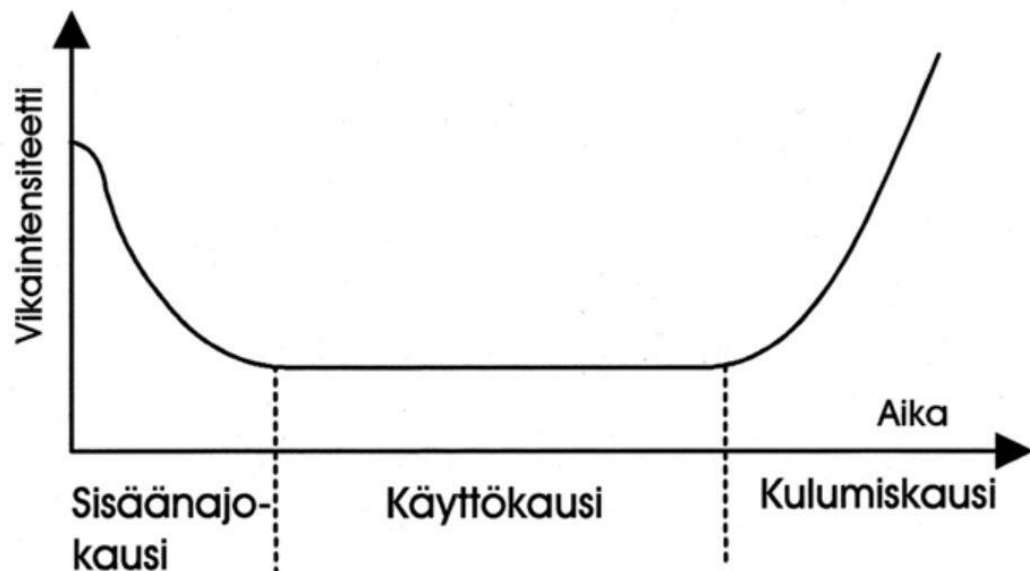
"Lähes kaikki aiheeseen liittyvä opetus ja kirjallisuus korostavat näitä näkökohtia ja jättävät huomiotta todellisuuden, että mukana olevat epävarmuusalueet mitätöivät suurelta osin kvantitatiiviset menetelmät ennustamiseksi ja mittaamiseksi." (O'Connor, 2012)

Tämä lisää valtavasti vaikeuskerrointa mietittäessä eri skenaarioita ja tapoja, joilla laitteet voivat vikaantua. O'Connor toteaa myös, että osien taikka järjestelmän vikojen varalta luotettavuusmäärittelyksen tulisi keskittyä enemmän miksi ja miten tapahtuu, ennustamiseen kuin siihen että kun tapahtuu jotain. Ymmärtämyksen laajentamien siihen, miksi vika on tapahtunut johtaa paljon todennäköisemmin käytettyjen rakenteiden ja prosessien parantamiseen, kuin kvantifioimalla "milloin" vika todennäköisesti tapahtuu esimerkiksi määrittämällä MTBF-arvoa (O'Connor 2012)

Kuviossa neljä esitetään vikataajuus ajan funktiona. Kunnossapito menestystekijäjulkaisun johdanto luotettavuustekniikkaan osio toteaa tästä voitavan erottaa selvästi erilaisia jaksoja. Jaksojen voimakkuus ja kesto vaihtelevat varsin paljon erityyppisillä tuotteilla. Perusmallina voidaan käyttää kuviossa esitettyä kylpyammekäyrää, vaikkakin se käytännössä toteutuu harvoin perusteorian mukaisena. (edu.fi)

Speaks toteaa julkaisussaan kylpyammekäyrästä ja sen tulkinnasta seuraavaa. Ensimmäiselle jaksolle on ominaista vähenevä vikaintensiteetti. Tämä tapahtuu laitteiden ollessa käyttöikänsä alussa. Tällöin heikoimmat ja valmiiksi vialliset laitteet rikkoontu-

vat. Speaks käyttää tästä nimitystä kuolleisuusjakso. Seuraava jakso on kaavion tasainen osa. Speaks kutsuu sitä normaaliksi elämäksi. Vikaantumista esiintyy enemmän satunnaisessa järjestyksessä tänä aikana. Tällä aikavälillä on vaikea ennustaa mikä vikatila ilmenee, mutta vikojen määrää voidaan ennustaa. Kolmas jakso alkaa pisteestä, jossa vikaintensiteetti alkaa kasvaa. Näin tapahtuu, kun laitteet ja osat vanhenevat ja alkavat vikaantua kasvavassa määrin. (Speaks, 3)



Kuvio 4. Vikataajuus ajanfunktiona

Speaksin ja kunnossapito menestystekijä julkaisun perusteella voidaan kylpyammekäyrää kuvata seuraavalla tavalla. Sisäänajokaudella vikaintensiteetti pienenee heikkojen ja valmiiksi viallisten tuotteiden rikkoontuessa. Käyrän keskellä on ajanjakso, jolle on ominaista suhteellisen vakio vikaantumisaste. Tämän jakson pituudella tarkoitetaan tuotteen tai komponentin käyttökautta. Tänä aikana vikaantumisaste on pieni ja amplitudi kylpyammekäyrällä on pienimmällään. Kulumiskaudella vikaintensiteetti kasvaa tuotteiden kuluessa ja niiden vikaantuessa ja rikkoutuessa helpommin. Tuotteen ikääntyessä heikommat yksiköt vikaantuvat taikka rikkoutuvat. Vikaantumisaste muuttuu lähes vakiona ja tästä muodostuu aika, jolloin komponentti taikka laite on joko korvattava uudella taikka peruskunnostettava. Näin pystytään muodostamaan tuotteelle kokonaiskestoikä ja arvioida milloin se pitää korvata uudella.

Speaks toteaa luotettavuuden määrittämisen komponentin taikka laitteen MTBF:nä (Mean Time Between Failures) tapahtuvan seuraavanlaisella kaavalla. Komponentti taikka laite, jonka MTBF on 40 000 tuntia, ei tarkoita sitä, että laitteen taikka komponentin tulisi kestää keskimääräisesti 40 000 tuntia. Teorian mukaan luotettavuustilastojen tilastollinen keskiarvo tulee todelliseksi keskiarvoksi laitteiden taikka komponenttien määrän kasvaessa. Kaava MTBF: n laskemiseksi on $MTBF = T / R$, jossa T on kokonaisaika ja R on vikojen lukumäärä.

Esimerkitapauksessa testataan kymmentä laitetta taikka komponenttia 500 tunnin ajan. Testin aikana tapahtuu 2 vikaa. Tällöin voidaan kaavasta laskea MTBF seuraavalla tavalla: $MTBF = (10 * 500) / 2 = 2500$ tuntia / vika.

Huomioitavaa on myös laitteiden ja komponenttien kytkentätapa järjestelmään. Jos laitteet taikka komponentit ovat kytketty sarjaan, muodostuu tulos erilaiseksi kuin kytkettäessä laitteet taikka komponentit rinnakkain. Tämä vaikuttaa myös toimivuuteen. Jos komponentit ovat kytketty sarjaan lakkaa koko laitteisto toimimasta, jos yksi komponenteista vikaantuu. Rinnankytkennässä taas kapasiteetti pienenee yhden laitteen taikka komponentin vikaantuessa, mutta toiminta ei lamaudu täysin. Tämän asian huomioiminen on tärkeätä tarkasteltaessa järjestelmää suurempana kokonaisuutena eikä välttämättä vain yhden komponentin kohdalta. Varsinkin asejärjestelmissä on kokonaisuuden tarkastelu luotettavuuden kannalta erittäin tärkeätä.

8 Varaosatarve ja sen määrittäminen

Mietittäessä järjestelmää, jolla on tietyntaiset suoritusvaatimukset kriisitilanteessa pitää miettiä hyvinkin tarkasti sitä millä tavoin voidaan varmistua siitä, että kulloisesakin tilanteessa on saatavilla oikeanlaiset osat järjestelmän palauttamiseksi taistelukykyiseksi. Tämän työn edetessä on syntynyt selkeä tarve luoda tällaisten asioiden määrittämiseen työkalu. Tämän työkalun ja sen avulla luotavien mallinnusten avulla voidaan tutkia millaisia varaosia ja kuinka paljon niitä tarvitaan operaation aikana.

8.1 Kriittinen varaosa

Aivan aluksi pitää määritellä mikä on kriittinen varaosa. Riikka Ketvell ja Ida-Lotta Lassila toteavat kandidaatintyössään (2015) että varaosien vaikutus koko prosessin kannalta on merkittävä, sillä niiden hajoaminen voi pysäyttää koko operaation. Varaosien kriittisyyden voidaan ajatella aiheutuvan kahdesta suunnasta siten, että prosessikriittisyys aiheutuu siitä, mikä varaosan merkitys operaation kannalta on, ja saatavuuskriittisyys taas siitä, miten hankalaa varaosa on saada. Kriittisyys onkin näin moninainen ja keskeinen käsite, joten sen määrittelemine on tärkeää.

Yksinkertaisimmillaan kriittinen varaosa on sellainen joka rikkoutuminen keskeyttää käynnissä olevan operaation taikka estää sen suorittamisen. Esimerkiksi komponentti A:n rikkoutuessa rakettinheitin ei pysty siirtymään tuliasemaan ja suorittamaan tulitehtävää. Tätä taustaa vasten järjestelmässä on sekä prosessikriittisiä että saatavuuskriittisiä varaosia. Tarkastelukohteena olevassa alustassa on saatavuuskriittisiä osia, joiden toimitusajat ovat pitkiä. Jotkin varaosat ovat myös molempia. Nämä osat taikka osakokonaisuudet ovat kriittisyyssajattelun kannalta kaikkein haastavimpia.

8.2 Kriittisen varaosan määritelmä

Varaosien kriittisyyttä voidaan miettiä myös siltä pohjalta, kuinka tärkeä osa on kokonaisuudessaan. Huiskonen (2001) esittää kriittisyyden aiheutuvan osan hajoamisesta, jolloin esimerkiksi operaatio keskeytyy tai jää suorittamatta, kunnes uusi varaosa on

paikallaan. Tämän ajatuksen pohjalta prosessikriittisyys voidaankin määritellä jokaiselle varaosalle sen mukaan, mikä on niiden merkitys koko operaation onnistumisen kannalta. Varaosat, joiden hajoaminen asejärjestelmässä pysäyttää koko operaation ovat kriittisimpiä, kun taas osat, joiden hajoaminen ei vaikuta koko operaation kulkuun ja onnistumiseen, ovat vähemmän kriittisiä.

Saatavuuskriittisyys voidaan määritellä sen mukaan, kuinka vaikeaa varaosien hankinta on. Monesti erilaisten siviilijärjestelmien varaosat ovat tavallisia standardiosia, joille on olemassa useita toimittajia ja joiden saatavuus on tästä johtuen erittäin varmaa. Toisaalta sotilaskäyttöön suunnitellut laitteet sisältävät usein osia, jotka valmistetaan ainoastaan tilauksesta ja joiden toimittajia on olemassa vain muutamia. Tällaisia varaosia, joiden saatavuus on huono, voidaan kutsua saatavuuden kannalta kriittisiksi varaosiksi. Saatavuuden kriittisyys johtuu osittain myös siitä, ettei varaosien kulumista ja siten niiden tarvetta pystytä välttämättä ennakoimaan. Tällöin varaosien varastointitarpeen määrittelyllä on suuri merkitys, sillä kaikkia varaosia ei voida varastoida itse ja siksi niitä ei välttämättä ole saatavilla heti tarpeeseen. Saatavuuteen vaikuttavien tekijöiden määrittäminen on tärkeää, sillä niitä parantamalla voidaan lyhentää korjausaikaa ja näin palauttaa järjestelmä takaisin taistelukelpoiseksi.

9 Tutkimusmenetelmistä ja aineiston keräämisestä

MTBF- arvo käyttäytyy tietyllä tavalla ajan funktiossa. Verrattaessa järjestelmän käyttötunteja suhteessa osien vikaantumisasasteeseen saadaan tietoa järjestelmän käyttäytymisestä ja sen mahdollisesta korvaamistarpeesta. Tällainen tieto on erittäin tärkeää, kun mietitään järjestelmän elinkaaripäivityksiä ja niiden tarvetta. Järjestelmän eri osat kuluvat eri tavoin ja näin pystytään määrittelemään ennakoivaa vaihtotarvetta.

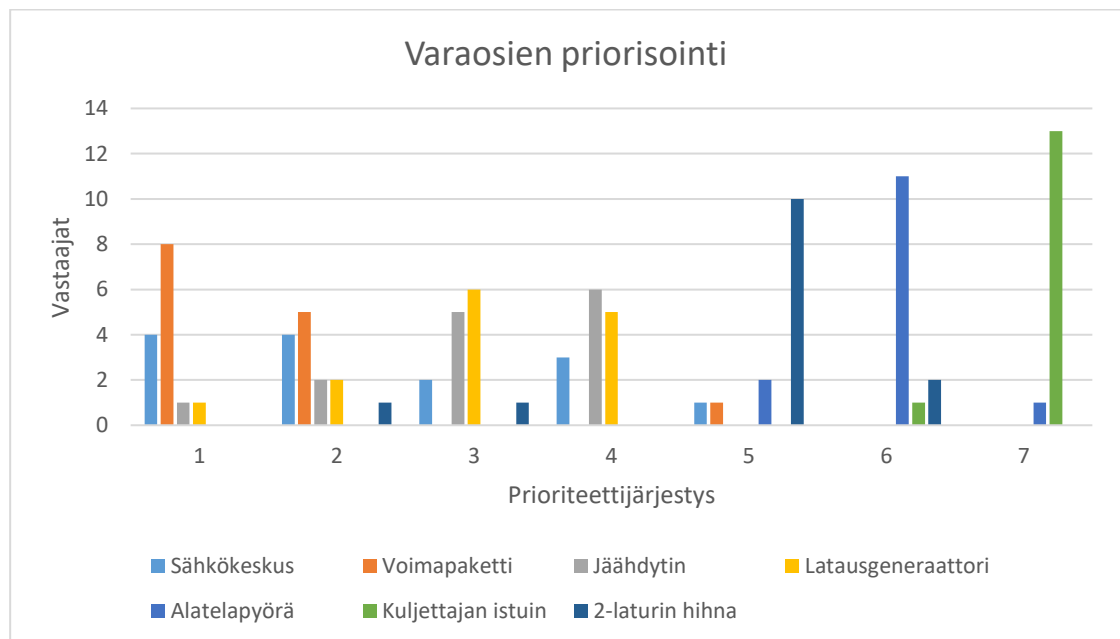
Tutkimuksessa käytettiin yhtenä tutkimusmenetelmänä edellä kuvattua MTBF laskentaa ja sen antamia tuloksia aineistona analyysien tekemiseen. Aineistoa laskentaa varten kerättiin eri tahoilta, kuten kumppanuusyritys Millog Oy:n tietokannoista, puolustusvoimien ajoneuvorekistereistä, sekä tutkimuskohteena olevan järjestelmän kantakirjoista. Näistä saatiin hyvää numeerista dataa laskennan perusteeksi. Tämän lisäksi aineistoa kerättiin haastatteleamalla järjestelmän parissa työskenteleviä henkilöitä ja kyselytutkimuksella järjestelmän kanssa eri tasoilla tekemisissä olevien henkilöiden kanssa.

Näistä vastauksista ja laskennan tuloksista muodostetaan kuva järjestelmän kriittisistä varaosista ja niiden tarpeesta. Näin voidaan määritellä mitä osia tulee olla varastoituna, missä ja kuinka paljon. Tämä on tärkeää tietoa tehtäessä operatiivista suunnittelua varsinkin huollon näkökulmasta ajateltuna.

10 Kyselytutkimus

Kyselytutkimus lähetettiin 18 henkilölle, jotka työskentelevät järjestelmän kanssa erilaisissa rooleissa. Vastauksia tuli takaisin 14 henkilöltä mikä nostaa vastaamisasteen 78%. Tällainen otos on mielestäni hyvä. Vastanneet henkilöt toimivat käyttöhuollon tehtävissä, kouluttavat järjestelmän käyttöä varusmiehille, sekä ovat järjestelmävastuussa olevia henkilöitä.

Vastauksista kuvastuu hyvin se, millaisella lähestymiskulmalla kukin asiaa katsoo. Nähtävissä on selvästi ero teknisen henkilökunnan ja kouluttavan henkilöstön välillä siinä mitä kukin priorisoi tärkeämmäksi komponentiksi. Vastaajien määrä on sellainen, että näiden ryhmien vastausten vertaileminen keskenäänkin on mahdollista, mutta se ei vaikuta kuitenkaan tuloksesta muodostettavaan kokonaiskuvaan. Jotkin vastaajat myös perustelivat vastauksiaan ja kertoivat mihin perustavat tämän prioriteettijärjestyksen. Alla olevassa kuvio 4 on esitetty kootusti tulokset siitä mitkä komponentit on priorisoitu kärkeen.



Kuvio 5. Varaosien priorisointi

Kuviossa 4 näkyvät järjestyksessä seitsemän mukana ollutta komponenttia vastaajien asettamassa prioriteettijärjestyksessä. Komponenteista yksi oli valittu kontrollikoh-teeksi, jolloin voidaan todeta, että kysymykset ovat luettu lävitse ja vastaaminen on tehty ajatuksella.

Tarkasteltaessa tuloksia asettuu vastauksissa voimapaketti ylivoimaisesti tärkeim-mäksi komponentiksi. Voimapaketti käsittää moottorin ja vaihteiston muodostaman kokonaisuuden. Vastaajista kahdeksan oli asettanut sen prioriteettilistalla ensim-mäiseksi ja viisi vastaajaa toiseksi tärkeimmäksi komponentiksi. Näin ollen 93% vas-taajista arvioi sen tärkeäksi tai melko tärkeäksi komponentiksi. Voimapaketti on toki perusta koko vaunun liikkumiselle ja toiminnalle. Ilman sen tuottamaa energiaa vaunu ei liiku eikä suorita tulitehtävää. Muita priorisoinnissa ykkössijalle asetettuja komponentteja oli muun muassa sähkökeskus, jäähdytin ja latausgeneraattori. Kom-menteissa korostui myös ko. komponenttien saatavuus ja se miten ne ovat korjat-tavissa omin toimenpitein.

Priorisoinnissa toiseksi tärkeimmäksi komponentiksi asetettiin alustan sähkökeskus. neljästätoista vastanneesta kahdeksan (57%) asetti sen joko tärkeäksi tai melko tär-keäksi komponentiksi. Kyseisen keskuksen kautta kulkevat koko alustan sähköt. Jos keskus rikkoutuu, on alusta toimintakyvytön. Kyseinen keskus on toki komponenttina korjattavissa ominkin toimenpitein. Toiseksi tärkeimmäksi komponentiksi priorisoitiin yhtä lailla voimapaketti, latausgeneraattori, kuin jäähdytinkin.

Priorisoinnissa kolmanneksi tärkeimmäksi komponentiksi asettuu latausgeneraattori. Neljästätoista vastaajasta kuusi (42%) priorisoi sen kolmanneksi tärkeimmäksi. La-tausgeneraattori on komponenttina tärkeä sen tuottaman sähköenergian takia. Il-man latausgeneraattorin akkuihin tuottamaa sähkövirtaa dieselmoottoria ei voi käyn-nistää, ammunnanhallintaa käyttää taikka asetta suunnata tulitehtävää varten. Kol-manneksi tärkeimmäksi komponentiksi vastauksissa priorisointiin myöskin jäähdytin sekä 2-laturin hihna.

Priorisoinnissa neljänneksi tärkeimmäksi komponentiksi arviotiin jäähdytin. Jäähdytin kuuluu kiinteänä osana voimapakettiin, mutta on rakenteensa johdosta helpoimmin

vaihdettavissa erillisenä komponenttina järjestelmään. Neljästätoista vastaajasta kuusi (42%) priorisoi sen neljänneksi tärkeimmäksi komponentiksi. Priorisoinnissa neljänneksi tärkeimmäksi komponentiksi arvotettiin myös latausgeneraattori sekä sähkökeskus.

Viidenneksi tärkeimmäksi komponentiksi priorisoitiin 2-laturin hihna. Tämän priorisoi kymmenen vastaajaa neljästätoista (71%) viidennelle sijalle. 2-laturin hihna on tärkeä komponentti, sillä ilman sitä ei saada ladattua virtaa aseeseen ja ammunnanhallinnan akustoille täysimääräisesti. Kyseinen komponentti on toki vaihdettavissa helposti ja nopeastikin jos vain korvaavia komponentteja on saatavilla. Viidenneksi tärkeimmäksi priorisoitiin joissain vastauksissa myös alatelapyörä.

Kuudenneksi tärkeimmäksi komponentiksi priorisoitiin alatelapyörä. Neljästätoista vastaajasta yksitoista (78%) priorisoi tämän osan vähemmän tärkeäksi. Alatelapyörä vikaantuu siten että kumipäällyste irtoaa ajonaikana pois. Tällöin jäljelle jää ainoastaan metallinen runko. Tämä ei vaadi välitöntä korjausta vaan vahingoittunut alatelapyörä voidaan vaihtaa sopivan tilaisuuden tullen uuteen. Yleisesti jos toinen samalla navalla olevista pyöristä vaurioituu ja ajoa jatketaan, vaurioituu toinenkin pyörä hyvinkin nopeasti. Mutta tällaisen pyöräparin vaurio ei vielä lopeta tehtävän suorittamista. Kuudenneksi priorisoitiin myöskin 2-laturin hihna ja kuljettajan istuin.

Viimeiseksi priorisoinnissa jäi kuljettajan istuin. Neljästätoista vastaajasta kolmesta (93%) piti sitä vähiten tärkeänä komponenttina. Jos kuljettajan istuin vaurioituu sen voi korvata lähestulkoon millaisella materiaalilla tahansa taikka kuljettaja voi istua oman reppunsa päällä ja ajaa siitä heitintä. Tätä vaihtoehtoa käytettiin kontrollikysymyksenä, joka kertoo sen, onko vaihtoehdot luettu kunnolla lävitse ja niihin vastaamiseen perehdytty huolella.

Tämä kyselytutkimus luo mielenkiintoisen kuvan järjestelmän parissa toimivien henkilöiden käsityksestä siitä, mikä on kenenkin lähtökohdista kriittinen komponentti järjestelmän toimivuuden ja tehtävien toteutuksen kannalta.

10.1 Analyyttinen hierarkiaprosessi

Kykymme mallintaa kompleksista ongelma- tai ilmiökokonaisuutta ovat rajalliset. Tämä näkyy selvästi, kun mitataan taloudellisia tekijöitä rahayksikköjen avulla, tuotteiden ominaisuuksia fysikaalisten mittausten avulla tai arvioidaan esimerkiksi tuotantoaika tai jonkin tapahtuman todennäköisyyttä. Ilmiöstä tai tapahtumasta tehdään malli sen mukaan, mitä tekijöitä voidaan mitata. (Prosessitaito)

Päättäjä valitsee toimintavaihtoehtoja ja voi joutua ottamaan huomioon teknisiä, taloudellisia, ympäristönsuojelullisia ja käyttäytymistekijöitä. Päätökset on voitava perustella. Ongelmaa ei aina voi yksinkertaistaa. Sen sijaan se voidaan jäsentää osiksi ja selvittää järjestelmällisesti, miten osat vaikuttavat toisiinsa ja ongelmaan kokonaisuutena. Analyyttinen hierarkiaprosessi (AHP) on päätöksentekomenetelmä, jonka avulla saadaan malli jäsentymättömästä ongelmasta. AHP:n yksi perusajatus on, että järjestelmän rakennetta ja toimintoja ei voi erottaa toisistaan. Rakennetta ja toimintoja tarkastellaan samanaikaisesti. Ongelma jäsennetään osiensa rakenteena ja välisinä suhteina, jotka kuvataan hierarkioiden avulla. Hierarkiana esitetty järjestelmä kuvaa, miten prioriteetin muutos ylemmillä hierarkian tasoilla vaikuttaa alemman tason elementtien prioriteetteihin. Hierarkia tuottaa suuren määrän tietoa järjestelmän rakenteesta ja toiminnasta ja antaa käsityksen ylempien tasojen toimijoista ja heidän tarkoituksistaan. Hierarkiat ovat stabiileja ja joustavia. Stabiileja ne ovat siinä mielessä, että pienten muutosten vaikutukset ovat vähäisiä. Joustavia ne ovat siinä, että jos hyvin jäsenneltyyn hierarkiaan lisätään jotain, lisäys ei heikennä järjestelmän suorituskkyä. (Prosessitaito)

Hierarkian lisäksi pitää saada selville, millä intensiteetillä valitun hierarkiatason eri elementit vaikuttavat seuraavan tason elementteihin. Lopuksi päädytään siihen, miten alimman tason elementit vaikuttavat päätavoitteeseen. Otetaan esimerkkinä neljä päätösvaihtoehtoa: A, B, C ja D, joiden keskinäistä tärkeyttä (prioriteettia) koehenkilöt arvioivat. Arvioijat arvioivat vaihtoehtoja A, B, C ja D pareittain toisiinsa, kunnes kaikkia kohteita on verrattu pareittain toisiinsa. (Prosessitaito)

Parivertailun pitää olla yhdenmukainen (consistent). Yhdenmukaisuus, konsistenssi, määritetään seuraavasti: jos A on kolme kertaa hallitsevampi ominaisuus kuin B ja vastaavasti B on kaksi kertaa hallitsevampi kuin C, niin A on kuusi kertaa hallitsevampi kuin C. Tällöin konsistenssi on täydellinen. Arvioiden yhdenmukaisuus lasketaan kaavalla, $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ jossa otetaan huomioon matriisin suurin ominaisarvo ja matriisin koko. Tulos jaetaan edelleen satunnaisluvulla generoidusta käänteislukumatriisista lasketulla ns. satunnaisindeksillä (RI, Random Index). Saadaan konsistenssisuhde (Consistency Ratio, CR), jonka hyväksyttävänä arvona pidetään 0.10 tai vähemmän. Tällöin vertailut ovat siis yhdenmukaiset ja johdonmukaiset. (Prosessitaito)

AHP:n päävaikutuksena on, että painoarvojen määrittäminen itsessään auttaa ymmärtämään paremmin käsiteltävää ongelmaa. Vertailukriteerien tärkeys noudattaa AHP:ssa yksinkertaisia talouden lakeja: mitä harvinaisempi jokin kriteeri vaihtoehtojen joukossa on, sitä suurempi on sen ”kysyntä” ja lopullinen painoarvo. Kun hierarkiaan lisätään vaihtoehtoja, muuttuvat myös kriteerien tarjonta, mahdollisesti painoarvot ja paremmuusjärjestys. AHP:ssa vaihtoehtojen tai kriteerien vertailut ovat siis kiinteästi yhteydessä koko vaihtoehtojen ja kriteerien joukkoon. Jos vaihtoehtojen ja kriteerien joukkoa muutetaan, täytyy myös vertailut tällöin uusia. (Prosessitaito)

Puolustusvoimat käyttää laajasti erilaisissa järjestelmien arvioinnissa analyttistä hierarkiaproessia. Tämän avulla voidaan todentaa eri tarjolla olevien vaihtoehtojen välisiä suhteita ja painottaa tiettyjä ominaisuuksia niiden suhteissa toisiinsa nähden. Kyselytutkimuksen luotettavuutta haluttiin myös tutkia sekä todentaa. Tähän käytettiin hyväksi analyttistä hierarkiaproessia (AHP). Tämän mallinnuksen avulla voitiin todeta, onko kyselytutkimuksen tuottama data luotettavaa ja siten käyttökelpoista. Käytössä oli parivertailu, jolloin pystyttiin arvottamaan kaikki komponentit toisiensa suhteessa. Kuviossa 6 esitetään AHP-malli kyselytutkimuksen tuloksesta.

	A	B	C	D	E	F	Juuri tulosta	Prioriteettivektori
A	1	0,333	0,33	1	5	9	1,305254246	0,162887959
B	3,003	1	1	3	3	9	2,498466118	0,311793697
C	3,03	1	1	1	3	9	2,083571	0,260017257
D	1	0,333	1	1	1	9	1,200936955	0,149869783
E	0,2	0,333	0,333	1	1	9	0,764724491	0,095433064
F	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	1	0,160249952	0,01999824
summa	8,344	3,111	3,774	7,111	13,11	46	8,013202762	1
sum.* priovekt.	1,359	0,97	0,981	1,066	1,251	0,92		
lambda maks.	6,547							
CI	0,109		(lambda maksimi-n)/(n-1)					
CR	0,088		CR=CI/RI					
	Random indexit							
	1	0						
	2	0						
	3	0,58						
	4	0,90						
	5	1,12						
Valitaan n=6	6	1,24						
	7	1,32						
	8	1,41						
	9	1,45						
	10	1,49						

Kuvio 6. AHP-laskentamalli kyselytutkimuksen tuloksesta

Laskettaessa yhdenmukaisuutta saatiin tulokseksi CR= 0.088, eli se alittaa yleisesti käytetyn konsistenssisuhteen arvon, joka on 0.10. Tämä osoittaa vertailun yhdenmukaisuuden ja johdonmukaisuuden. Näin ollen kyselytutkimuksen tulos on vertailukelpoinen ja luotettava. Saatua tulosta ja tässä kehitettyä menetelmää hyödynnetään jatkossa varaosien sijoituspaikkoja valittaessa painotusten kautta. Painotettavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi kuljetettavuus, asennettavuus taikka jälkikäsittely. Tämä painotus pitää tehdä tapauskohtaisesti kunkin joukon omista lähtökohdista, alueelliset erityispiirteet ja tarpeet huomioiden. Kuviosta 6 on poistettu yksilöintitiedot koskien komponentteja. Kyseiset A, B, C, D, E ja F ovat heittimen vertailussa olevia varaosakomponentteja, joita ei nimetä tässä taulukossa yksilöidysti turvallisuusyistä.

11 Komponenttien MTBF-arvojen määrittäminen

MTBF-arvojen määrittämiseksi kerättiin tietoa raketinheittimien käyttöasteesta viimeisten 5 vuoden ajalta. Tämä tieto saatiin kerättyä ajoneuvotietojärjestelmästä, johon tallennetaan vuosittain katsastuksen yhteydessä kunkin heittimen alustan käyttötunnit sekä ajokilometrimäärä. Tätä tietoa verrattiin kantakirjoista löytyvään tietoon sen todenperäisyyden varmistamiseksi.

Vertailukohdaksi näihin tuloksiin otettiin NSPA:n julkaisemaa dataa, jota on kerätty muista vastaavaa raketinheitinjärjestelmää käyttävistä maista. NSPA julkaisee vuosittain raportin, jossa eri komponenttien MTBF-arvojen keskiarvo on laskettu jäsenmaiden tuottaman tiedon perusteella.

11.1 NSPA

NSPA on lyhenne sanoista Nato Support and Procurement Agency. NSPA kokoaa yhteen organisaatioon hankinta-, logistiikka-, lääketieteelliset ja infrastruktuurivalmiudet, operatiivisen ja järjestelmätuen sekä palvelut NATO -valtioille, Naton sotilasviranomaisille ja kumppanimaille. Viraston tehtävänä on tarjota mahdollistaa kustannustehokkaita monikansallisia ratkaisuja allianssille ja kumppaneilleen.

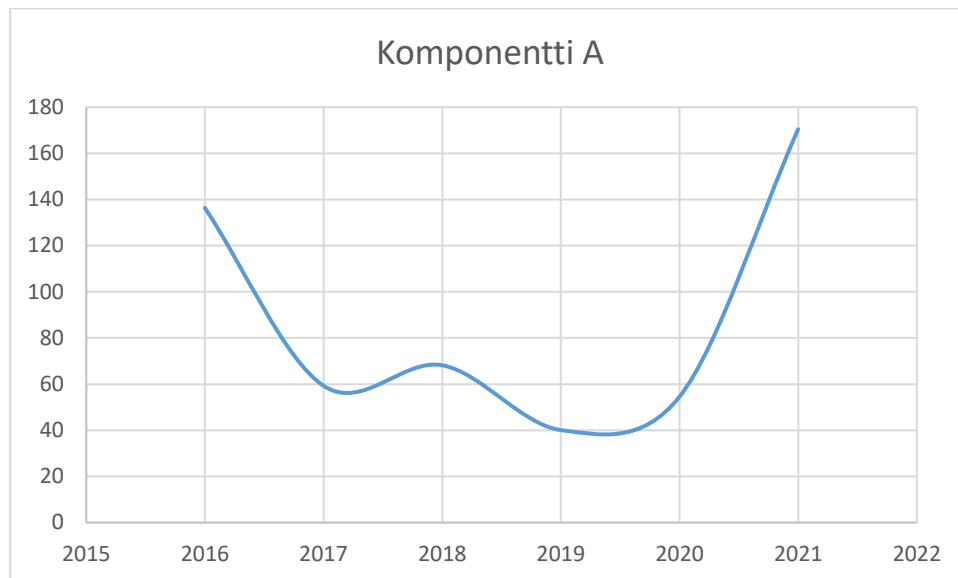
NSPA on perustettu vuonna 1958. Sen tehtävänä on hankkia, operoida ja ylläpitää kaikkea teollisuuden yhteydenpitoa puolueettomasti jäsentensä hyväksi. Tuki kattaa kaiken asejärjestelmistä polttoaineiden toimitukseen, satamapalveluihin, lentokenttä logistiikkaan, lääketieteellisiin ja catering -palveluihin tai tukikohtien tukipalveluihin koko toiminta-alueellaan sijaitseville joukoille. NSPA mahdollistaa logistiikan ja materiaalihallintatoimintojen yhdistämisen ja keskittämisen tarjoamalla "kehdestä hautaan" -tuen ja antaa näin asiakkailleen mahdollisuuden saavuttaa toiminnassaan synergiaetuja.

NSPA:n järjestelmään on rekisteröity yli 60 000 yritystä, joista 10 000 tekee aktiivisesti yhteistoimintaa NSPA:n asiakkaiden kanssa. NSPA on asiakasrahoitteinen organisaatio, joka toimii "ilman voittoa - ei tappiota" -periaatteella. Liiketoiminta on kasvanut lähes nelinkertaiseksi viimeisen vuosikymmenen aikana ja on saavuttanut 4 miljardin euron vuotuisen liikevaihdon. NSPA:n pääkonttori sijaitsee Luxemburgissa ja sen päätoimipaikat ovat Ranskassa, Unkarissa ja Italiassa. Virasto työllistää noin 1550 henkilöä ja valvoo yli 2500 urakoitsijaa Naton operaatioissa ympäri maailmaa. (NSPA 2021)

11.2 MTBF-laskennan tuloksia

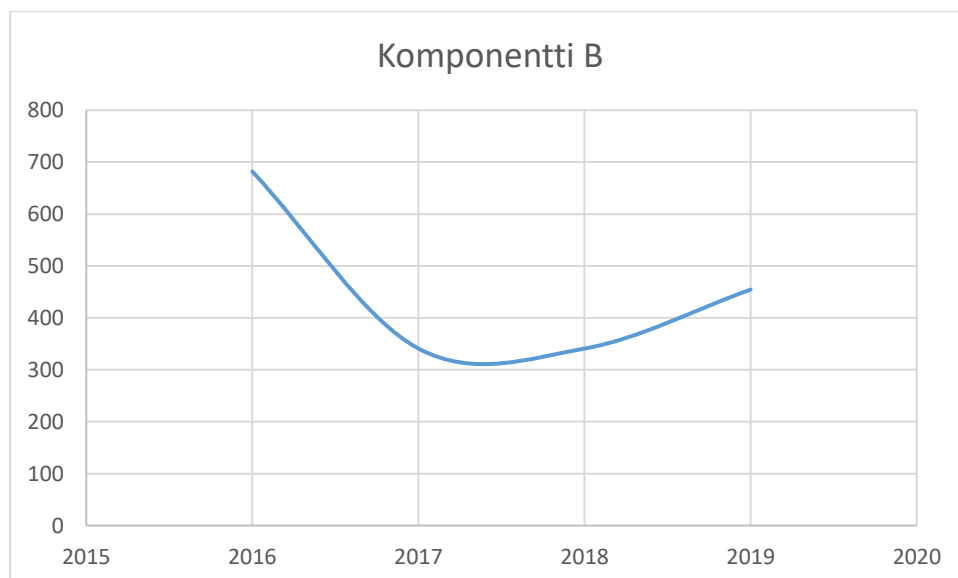
MTBF laskennan avulla määriteltiin alustan eri komponenttien vikaantumistaajuutta ja sen muutoksia järjestelmän käyttöiän ajalta. Laskenta toteutettiin Excel-taulukoiden avulla ja näin pystyttiin muodostamaan myöskin MTBF-arvoa kuvaavia kuvaajia. Näiden avulla voidaan havainnollistaa eri komponenttien kestävyyttä ja käyttöikää. Kuvaajan tulisi olla mahdollisimman tasainen, jolloin voidaan todeta komponentin olevan kestävä ja sen vikaantumistaajuus on pieni. Jos kuvaajan muoto poikkeaa lineaarisesta, on komponentti joko vikaantumisherkkä taikka sen kestävyys vaihtelee suuresti. Laskennassa ja analyysissä ei ole huomioitu korjausaikoja eikä liioin odotusaikaa, joka kuluu uuden komponentin saamiseen kohteelle. Kappaleessa ei operaatioturvallisuussyistä käsitellä komponentteja niiden oikeilla nimikkeillä vaan komponentti A, B, C, D ja niin edelleen. Laajempi komponenttien käsittely nimikkeittäin on kappaleessa 12, joka on mukana Porin Prikaatille luovutetussa kappaleessa.

Komponentti A:n laskettu MTBF-keskiarvo seuranta-ajalla on ollut 88 tuntia. Vaihteluväli on ollut 40 ja 170 tunnin välillä. Arvoista muodostettu kuvaaja kertoo kyseisen komponentin kestävyuden parantuneen viimeisen vuoden aikana. Toki komponentin vikaantumisaste voi vielä muuttua vuoden 2021 aikana ja näin mahdollinen MTBF-arvo muuttua pienemmäksi.



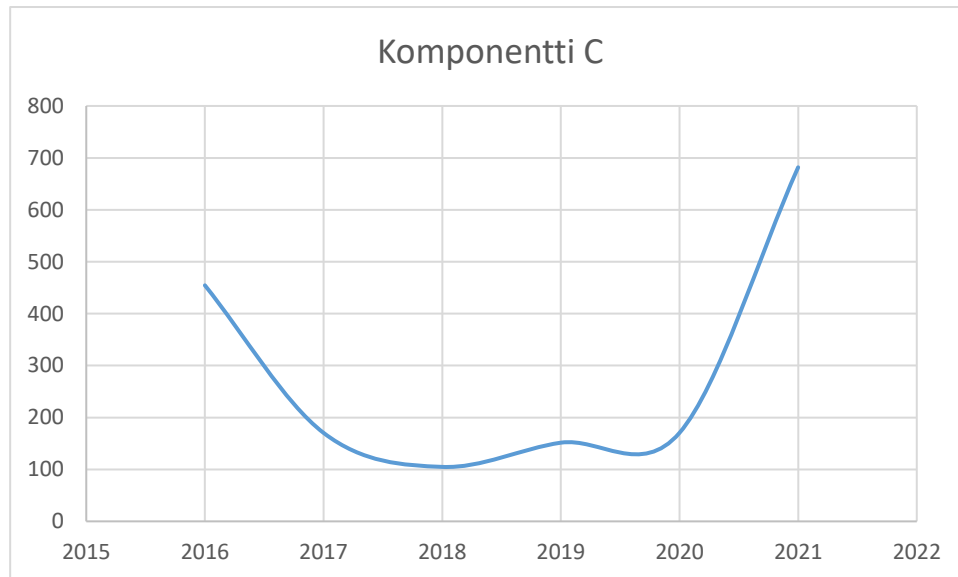
Kuvio 7. komponentti A MTBF-arvon kuvaaja

Komponentti B:n laskettu MTBF-keskiarvo seuranta-ajalla on ollut 455 tuntia. Vaihteluväli on ollut 341 ja 682 tunnin välillä. Komponentti B:hen on saatavilla NSPA:n vertailuarvo, joka on 9163 tuntia. Tämä osoittaa komponentin kestävydessä epäsuhdan. Kansainvälisesti komponentti kestää noin 20 kertaisesti kauemmin. Näin ollen saman komponentin elinkaari on nykyisellä käyttötahdillaan huomattavasti lyhyempi.



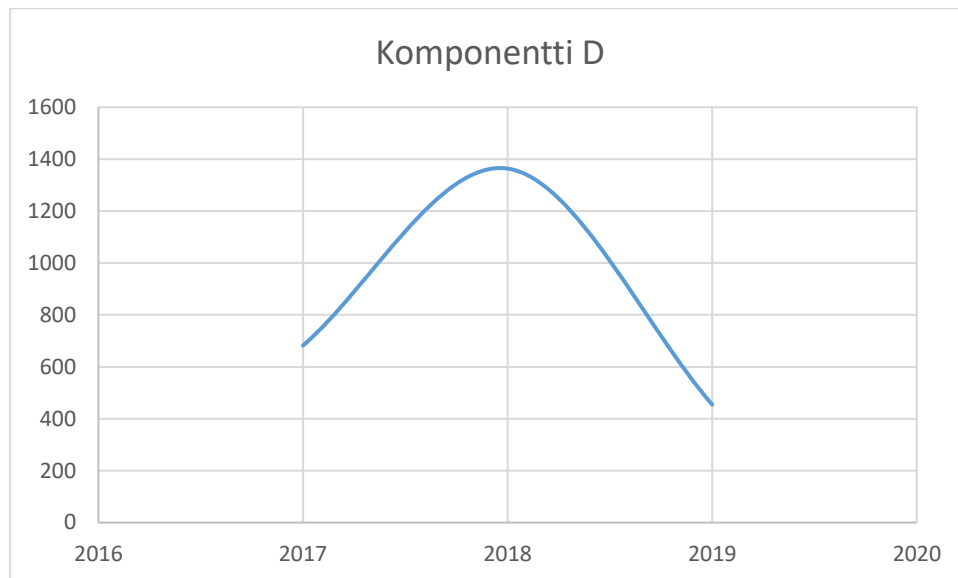
Kuvio 8. komponentti B MTBF-arvon kuvaaja

Komponentti C:n laskettu MTBF-keskiarvo seuranta-ajalla on ollut 289 tuntia. Sen vaihteluväli on ollut 105 ja 682 tunnin välillä. Seurattaessa komponentin vikaantumistaajuutta on se ollut pitkään vakio. Vuoden 2021 lopullista tietoa ei ole vielä saatavilla, mutta nykyisellään jos suuntaus on tämä, MTBF-arvo on menossa oikeaan suuntaan ja komponentin kestävyys on parantunut.



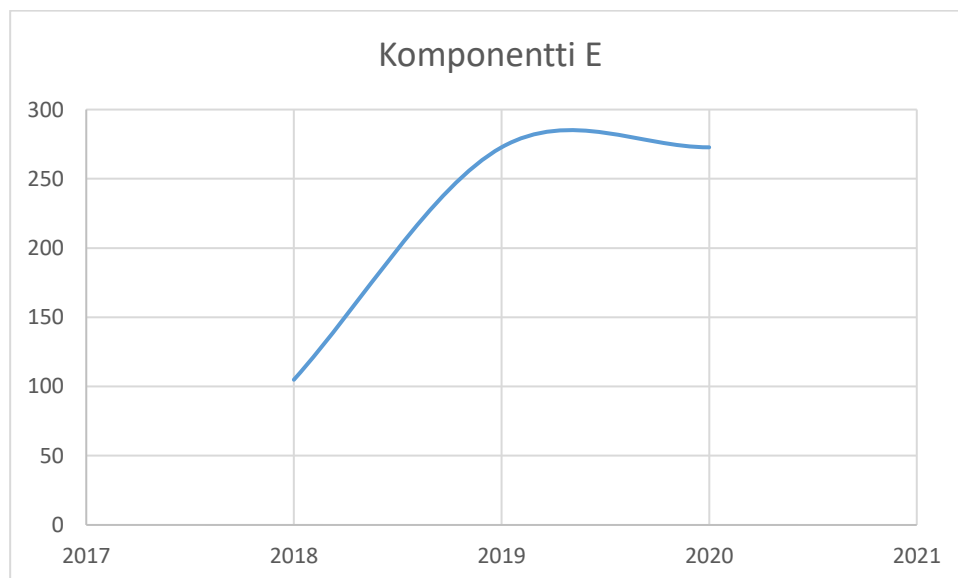
Kuvio 9. komponentti C MTBF-arvon kuvaaja

Komponentti D:n laskettu MTBF-keskiarvo seuranta-ajalla on ollut 833 tuntia. Sen vaihteluväli on ollut 455 ja 1364 tunnin välillä. Seurattaessa komponentin vikaantumistaajuutta on se vaihdellut suuresti vuosittain. Vaihtelun aiheuttajaa ei voida nimetä yksiselitteisesti. Mahdollisia syitä voi olla laadun heikkeneminen taikka väärä käyttötapa, joten sen arviointiin tarvitaan vielä lisää seuranta.



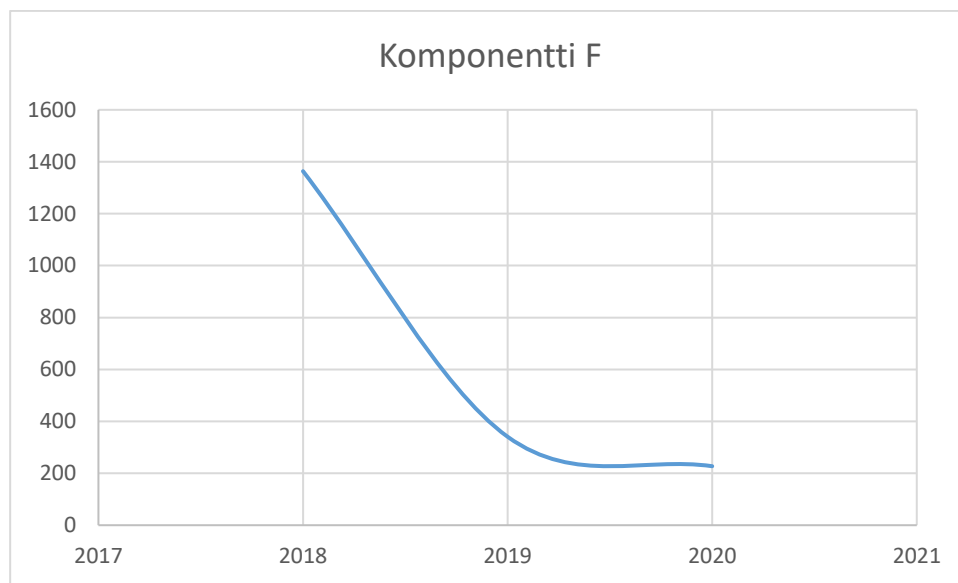
Kuvio 10. komponentti D MTBF-arvon kuvaaja

Komponentti E:n laskettu MTBF-keskiarvo seuranta-ajalla on ollut 217 tuntia. Sen vaihteluväli on ollut 105 ja 273 tunnin välillä. Seurattaessa komponentin vikaantumistaajuutta on se pienentynyt viimeisten seuranta-ajankohtien aikana. Kehityssuunta on ollut positiivinen ja sen seuraaminen jatkossa on tärkeää.



Kuvio 11. komponentti E MTBF-arvon kuvaaja

Komponentti F:n laskettu MTBF-keskiarvo seuranta-ajalla on ollut 644 tuntia. Vaihteluväli on ollut 227 ja 1364 tunnin välillä. Komponentti F:ään on saatavilla NSPA:n vertailuarvo, joka on 12878 tuntia. Tämä osoittaa komponentin kestävydessä rajun epäsuhdan. Kansainvälisesti vertailtuna muiden käytössä komponentti kestää noin 19 kertaisesti kauemmin. Komponentin kesto ikä on siis huomattavan alhainen omassa järjestelmässämme. Kuvaajasta voi huomata myös sen käyttöiän laskevan trendin. Onko komponentissa jokin vika minkä vuoksi sen kestävyys on heikko, vai käytetäänkö sitä jotenkin väärin.



Kuvio 12. komponentti F MTBF-arvon kuvaaja.

Komponenttien G ja H MTBF-arvo on pysynyt vuotuisella tasolla 1364 tunnissa. NSPA:n julkaisema vertailuarvo komponentille G on 13465 tuntia eli 9.8 kertaa suurempi. Komponentti H:n NSPA:n julkaisema vertailuarvo 3040 tuntia on 2,2 kertaa suurempi. Tämän eron syyn selvittäminen olisi erittäin tärkeätä jolloin saataisiin ommaakin vikaantumistaajuuttamme pienennettyä ja komponenttien luotettavuutta parannettua.

11.3 Analyysi MTBF-arvojen tuloksista

Tarkastelussa olleesta kahdeksasta komponentista yli puolet ovat alustan toimintakykyyn merkittävästi vaikuttavia, eli kriittisiä. Näiden komponenttien vaurioituminen estää käynnissä olevan tehtävän suorittamisen taikka seuraavaan tehtävään siirtymisen kokonaisuudessaan. Verrattaessa MTBF-arvoja kansainväliseen verrokkidataan voidaan huomata niiden olevan matalampia kuin verrokkimaissa. Tästä syystä onkin tärkeätä jatkaa datan keräämistä sekä analysointia. Näillä toimenpiteillä voidaan mahdollisesti löytää syitä vikaantumistaajuuden muutoksiin sekä tehdä tarvittavia muutoksia käyttötapoihin, komponentteihin taikka johonkin muuhun esille nousevaan syyhyyn mikä vaikuttaa negatiivisesti vikaantumistaajuuden muutokseen.

Komponenttien vikaantumistaajuus vaikuttaa varastoinnin tarpeeseen. Osassa komponenteissa toimitusajat voivat olla pitkiä ja näin niitä pitää hankkia varastoon aina kun on mahdollista. Samoin ajateltaessa poikkeusolojen varautumista ja sitä millaisia määriä komponentteja tulee olla varastoituina, ja ennen kaikkea miten lähelle operaatioaluetta varastointi tulee suorittaa. Poikkeusolojen aikana kuljettaminen muuttuu haasteellisemmaksi ja näin ollen komponenttien saatavuus pitkien matkojen takaa voi olla haastavaa. Tämän vuoksi olisi tarpeellista pohtia komponenttien varastointia uudella tavalla ja varautua mahdolliseen poikkeustilanteeseen jo etukäteen. Tämä asia on operaatioiden onnistumisen kannalta erittäin tärkeää.

Tässä tapauksessa on käsitelty vain MTBF-arvoa. Huomioon ei ole otettu MTTR-arvoa (Mean time to repair), eli keskimääräistä korjausaikaa. MTTR-arvo siis edustaa keskimääräistä aikaa, joka tarvitaan viallisen komponentin tai laitteen korjaamiseen. Siihen ei yleensä sisällytetä toimitusaikaa osille, taikka muita hallinnollisista taikka logistisista haasteista johtuvaa viivästystä. Suunniteltaessa kunnossapitoa MTTR-arvoon sisällytetään myös aika, jolloin vika on piilevä. Tarkasteltaessa kokonaisuutta myös MDT-arvolla (Mean Down Time) on oma merkityksensä. Tämä aika on se, jolloin järjestelmä on toimintakyvytön. Keskimääräinen seisona-aika, MDT voidaan määritellä keskimääräiseksi ajaksi, jonka kyseinen järjestelmä on poissa käytöstä vian jälkeen. Yleisesti ottaen MDT-arvon katsotaan olevan hieman erilainen kuin MTTR-

arvon. MDT-arvo sisältää yleensä myös organisatorisia ja logistisia tekijöitä, kuten päivämääreitä taikka komponenttien toimitusaikaan liittyviä tekijöitä.

12 Poikkeusolojen varaosavaraautuminen

Tässä kappaleessa käsitellään varaosavaraautumista poikkeusoloissa. Kappaleessa kerrotaan kriittisten varaosakomponenttien varastoinnista ja siitä, minne niitä tulisi sijoittaa sekä millaisia määriä. Tarvetta on suhteutettu mahdollisen kriisitilanteen keston ja tehtävien määrään.

Kappaleen sisältö on luottamuksellinen Julkl (621/1999) 24.1§:n 10k mukaan ja on esitetty erillisessä liitteessä 1, joka on mukana PORPR:lle luovutettavassa opinnäytteen kappaleessa.

13 Tulokset

Tämän työn tarkoituksena oli tarkastella raskaan raketinheittimen varaosalogistiikkaa ja määritellä kriittisiä varaosia sekä niiden varastointitarvetta. Työ palveli myös teki-
jäänsä syventämällä näkemystä asejärjestelmän toiminnasta sekä puolustusvoimien organisaatiosta, logistiikkajärjestelmästä sekä niiden toimintatavoista.

Työssä tutkittiin komponenttien kestävyys- ja vikaantumiseen liittyviä tekijöitä sekä mietittiin varastointiin liittyviä näkökohtia. Työn tekemisen aikana tekijälle on piirtynyt kuva organisaation logistisenjärjestelmän toiminnasta ja niistä aikamää-
reistä, joiden puitteissa komponentteja tulee toimittaa sekä normaali- että erityisesti poikkeusoloissa kunnossapidon tarpeisiin.

Suurin hyöty työssä on organisaatiolle syntynyt materiaali heittimen käyttötiedoista sekä varaosakulutuksesta. Myös henkilökohtainen kiinnostus jatkaa tiedonkeruuta on voimistunut. Tulevaisuudessa tähän mennessä kerätty materiaali toimii jatkotutki-
muksen ja -seurannan pohjana. Samoin valmiiksi luodut kaavakkeet ja laskentataulu-
kot auttavat tiedon analysoinnissa ja mahdollistavat tiedon prosessoinnin erittäin helposti. Työn lopputuloksena syntyi organisaatiossa työskenteleville järjestelmänsi-
nööreille eräänlainen työkalu raskaan raketinheittimen sekä sovellettuna muunkin kaluston seurantaan ynnä komponenttien vikaantumistaajuden selvittämiseen.

Tässä työssä on käsitelty hyvin suppeasti komponentteja ja niiden kokonaisuuksia, sillä työn luonteesta johtuen sen rajaaminen oli välttämätöntä. Jatkossa organisa-
tion tahtotilan mukaan voidaan komponenttien määrää lisätä ja datan keräämistä laajentaa muihinkin kuin alustan komponentteihin, jolloin saada vieläkin laajemmin tietoa operaatiosuunnittelun tueksi huollon näkökulmasta.

13.1 Tutkimuskysymyksien vastauksia

Ensimmäisenä tutkimuskysymyksenä oli, millaisia määriä ja mitä kriittisiä kom-
ponentteja kannattaa varastoida? Kysymykseen vastaus saadaan tutkimalla MTBF-

arvoja ja peilaamalla arvoa komponentin saatavuuteen. Mikäli komponentin saatavuus on heikko taikka toimitusaika pitkä, tulee niitä hankkia mahdollisuuksien mukaan jo normaalioloissa riittävästi varastoon. Entisestään tämä korostuu, mikäli myös komponentin MTBF-arvo on matala, mikä tarkoittaa myös suurta kulutusta. Poikkeusoloissa mahdollinen rahtiliikenne maan ulkopuolelle voi olla vaikeutunut ja täten vaikka komponenttitilaukset saataisiin tehtyä ja toimitettua perille, ei tilattua komponenttia pystytä välttämättä toimittamaan vihollisen aiheuttamasta ilma- taikka merisaarrosta johtuen luonnollisten viiveiden lisäksi. Myös kulloinenkin taistelutilanne luo oman paineensa komponenttien toimituksen osalta. Pystytäänkö asejärjestelmän yksikkö korvaamaan toisella ja näin toteuttamaan ennalta määrätty tehtävät. Kysymyksessä kun voi olla suurempi kokonaisuus, jossa asiat vaikuttavat toisiinsa hyvinkin laajalti.

Toisena kysymyksenä oli, minne komponentit kannattaa varastoida? Komponenttien varastointiin liittyy olennaisena osana kysymys vikaantumistaajuudesta. Jos vikaantumistaajuus on korkea, tarvitaan komponentteja useasti ja niitä pitää olla heti saatavilla useita kappaleita. Jos taajuus on matala riittää pienempi varanto. Myös komponentin koko vaikuttaa varastointiin. Varastoinnissa kannattaa huomioida toiminta-alueet ja niiden erityispiirteet, myöskin varastoinnin hajauttaminen vihollisen toiminnalta suojaamiseksi tulee huomioida. Komponentit, joilla on suuri vikaantumistaajuus kannattaa varastoida mahdollisimman lähelle taistelevaa joukkoa, jolloin komponenttien saatavuus on turvattu mahdollisimman hyvin. Tällöin pystytään ennakoimaan täydennystilauksen tarvetta ja suorittamaan tilaukset riittävän ajoissa tai kasvattamaan lähellä varastoitavien osien lukumäärää. Näin komponenttien toimitukseen jää riittävästi aikaa ja järjestelmä pystyy toimimaan mahdollisimman häiriöttömästi. Komponenttien varastoinnilla voidaan vaikuttaa myös odotusaikaan. Mitä lähempänä komponentit ovat varastoituna sitä nopeammin ne ovat käytettävissä. Huomioitavaa komponenttien määrässä on rajallinen kuljetuskyky mitä joukot pystyvät kuljettamaan mukanaan. Tähän liittyen tarvitaan tarkkaa suunnittelua ja tarkastelua tarvittavista komponenteista.

Kolmantena kysymyksenä oli, millä tavoin logistinen toimitusketju olisi mahdollisimman tehokas? Tehokkuuteen on vaikea ottaa kantaa, sillä sen toimivuutta poikkeusoloissa ei voida todentaa. Normaalioloissa toimitusketjun toimivuus on hyvä ja komponentit ovat saatavilla suhteellisen nopeallakin toimitusajalla. Poikkeusolojen varautumisessa on tärkeätä huomioida myös toimitusketjun toimintavarmuuteen liittyviä seikkoja. Kuitenkin poikkeusoloissa kaikki kuljettaminen on enemmän ja vähemmän haasteellista. Puhuttaessa kuitenkin kynnysasejärjestelmästä tulisi sen komponenttien saatavuus priorisoida korkealle varastoinnin ja myöskin toimitusketjun toimivuuden näkökulmasta.

Tarkkojen analyysien tekeminen on julkisessa työssä hankalaa turvallisuussyistä johtuen. Kappaleessa 12, joka ei ole julkinen, käsitellään tarkemmin komponenttien tarvetta ja määrää. Yleisellä tasolla mainittuna tutkimustuloksien perusteella organisaatiossa voidaan tarkentaa suunnitelmia varaosakomponenttien valinnasta joukkoyksiköihin ja varastointikohteisiin. Tämä mahdollistaa vikaantumisherkkien komponenttien ottamisen varaosasarjoihin ja näin parantamaan komponenttien saatavuutta viikatilanteissa. Näin parannetaan joukkoyksikön omavaraisuutta ja mahdollistetaan järjestelmän toimintakykyiseksi palauttaminen mahdollisimman nopeasti. Myös komponenttien kokonaismäärää, sekä niiden varastointia voidaan suunnitella etukäteen. Komponenttien varastointi mahdollisimman lähellä käyttökohdetta nopeuttaa poikkeusoloissa toimituksia. Normaalioloissa komponenttien toimitusajat riittävät ylläpitämään järjestelmää normaalin koulutus- ja harjoitustoiminnan aikana. Normaalioloissa joukkoyksiköllä on varastoituna yleisimmin vaurioituvia komponentteja, sekä kumppanin tuki vaativampiin korjauksiin ja komponenttitoimituksiin.

13.2 Jatkotoimenpiteet

Työn aikana syntynyt materiaali toimii jatkossa pohjana tutkimustyölle, jota jatketaan osana työn tekijän toimenkuvaa alustainsinöörinä. Datan keräämisellä pyritään lisäämään tietoa kaluston kulumisesta ja löytämään syitä komponenttien korkeaan vikaantumistaajuuteen ja näin hakemaan uusia toimenpiteitä taikka toimintamalleja niiden kestävyysparantamiseksi. Myös käynnissä olevan varaosasarjojen määritys-

työn tueksi tarvitaan dataa ja tietoa komponenttien vikataajuuksista, jolloin varaosasarjaa voidaan muuttaa tarpeen mukaan oikean suuruiseksi sekä lisätä taikka poistaa sieltä komponentteja. Kerätty materiaali helpottaa myöskin kalustonkäytön suunnittelua. Asejärjestelmän käyttöikään pystytään vaikuttamaan ja sen huolto ja kierrätystarvetta ennakoimaan paremmin, kun eri komponenttien vikaantumistaajuutta pystytään ennustamaan ja varautumaan jo etukäteen komponenttien vaihdolla taikka korjauksella ennen komponentin lopullista rikkoutumista.

14 Pohdinta

Puolustusvoimien asejärjestelmät päivittyvät ja kehittyvät koko ajan. Työssä tutkittiin raskaan raketinheittimen, joka on yksi kynnysasejärjestelmistä kriittisiä varaosakomponentteja, sekä niiden varastointia. Tutkimusta toteutettiin tilastollisena- sekä kyselytutkimuksena. Tilastolliseen tutkimukseen kerätty aineisto oli hyvä pohja tutkimukselle kuten kyselytutkimuskin. Kiitokset kaikille, jotka siihen vastasivat.

Kun pohditaan työn merkityksellisyyttä, on sen vaikutus toimeksiantajan organisaatiolle hyvinkin suuri. Työn tuloksia pystytään hyödyntämään kunnossapidon operatiivisessa suunnittelussa erittäin hyvin. Tuloksista voidaan myöskin seurata järjestelmän kulumista ja näin suunnitella sen käyttöä ja kierrätystä. Kansainvälisestikin tuloksilla on painoarvoa NSPA:n kootessa yhteisiä tilastoja järjestelmän toimivuudesta. Näin saadaan kansainvälistä dataa komponenteista ja niiden vikaantumisasteesta omien tutkimusten verrokkiaineistoksi. Yhteiskunnallisesti tämän tutkimuksen vaikutus on ehkä pieni, ainakin näin syvässä rauhantilassa. Vaikutukset konkretisoituvat yhteiskunnallisesti vasta poikkeusolojen astuttua voimaan. Tällöin koeponnistetaan koko organisaation toimintakyky ja sen toiminnasta on riippuvainen maamme alueellisen koskemattomuuden ja itsemääräämisoikeuden säilyminen.

Tilastointi ja niihin perustuva analyysi on luotettava tapa tutkia esimerkiksi teknisten laitteiden kestävyyttä. Työn aikana kerätyn tiedon määrä on ollut hyvä ja sillä on päästy alkuun komponenttien vikaantumistaajuuden määrittelyssä. Valitut tutkimusmenetelmät tuottivat halutunlaisia tuloksia, jotka mahdollistavat analyysien tekemisen. Kuitenkin katsottaessa tilastointia ja sen luotettavuutta, kasvaa se tiedon lisääntyessä. Kun ajatellaan jatkoa tämän työn osalta, voidaan tuloksista saada vieläkin luotettavampia ja mahdollisesti kattavampia kun datan keräämistä jatketaan. Tämä työ onkin hyvä alkusysäys suuremmalle kokonaisuudelle ja komponenttien määrän lisäämiselle analyysihin. Nyt saadut tulokset antavat jo hyvän suunnan asioiden tilasta organisaatiossa, mutta kun tilastointia jatketaan systemaattisesti tietoisuus komponenttien vikaantumistaajuudesta, tarkentuu huomattavasti.

Pohdittaessa jatkotutkimusta ja sen tarvetta voidaan sitä pitää ilmeisenä. Jatkotutkimusta kehittämällä ja laajentamalla saadaan vielä kattavampaa tietoa komponenteista sekä niiden vikaantumistaajuudesta. Nyt työssä ollut raja-alue vain raskaan rakenteen alustan komponentteihin voidaan laajentaa koskettamaan myös aseosaa. Näin saadaan parempaa kokonaiskuvaa järjestelmän kestävydestä sekä tietoa organisaatiolle operatiivisen suunnittelun tueksi. Myöskin NSPA:n tuottaman vertailudatan hyödyntämistä tulee kehittää ja tutkia. Kun vikaantumistaajuuksista saadaan parempi kokonaiskuva, voidaan aloittaa tutkimus niiden syntymekanismeista. Onko syynä komponenttien heikko laatu vaiko käyttäjän tekemät toistuvat virheet, jotka vaikuttavat komponenttien vikaantumiseen ja sitä kautta rikkoontumiseen. Kun komponenttivaurion syntymekanismi saadaan selville, voidaan aloittaa toimenpiteet, joilla pyritään parantamaan komponentin kestävyttä. Näillä toimilla pystytään vaikuttamaan komponentin vikataajuuden kehitykseen ja parantamaan järjestelmän luotettavuutta sekä mahdollistetaan häiriötön ja luotettava toiminta nopeasti muuttuvissa tilanteissa.

Opinnäytteen hyödyllisyys ja sen vaikutukset ovat erittäin monisyiset. Työ on yhtä lailla perehdyttänyt tekijäänsä asejärjestelmään kuin puolustusvoimien organisaation, logistiikkajärjestelmän ja kumppanien toimintaan. Tuloksena syntynyt materiaali palvelee organisaatiossa järjestelmän kanssa työskenteleviä niin joukkoyksikössä kuin Järjestelmäkeskuksessakin. Samoin se toimii pohjana jatkotutkimukselle, jonka tuloksena voidaan kehittää toimintatapoja, suorittaa operatiivista suunnittelua ja parantaa varautumista poikkeusoloihin. Opinnäytteestä jää organisaatiolle sekä työn tekijälle selkeät työkalut, joilla voidaan jatkaa tutkimusta ja näin olla osaltaan kehittämässä järjestelmän suorituskykyä nyt ja tulevaisuudessa.

Lähteet

- Huiskonen, J. 2001, Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices, *International Journal of Production Economics*, vol. 71, nro. 1–3, s. 125-133.
- Joelle Morana. 2013. *Sustainable Supply Chain Management*. John Wiley & Sons, Incorporated. Viitattu 5.11.2020 <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.jamk.fi/>
- John Stark, 2011, *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation*, skillport.com, viitattu 9.2.2021
- Kosola, J. 2007. *Suorituskyvyn elinjakson hallinta*. Helsinki, Edita Prima Oy: Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotetekniikan laitos, ISBN 978-951-25-1816-6
- Kunnossapito menestystekijä, johdanto luotettavuustekniikkaan, Risto Asp, Timo Tuominen, Heikki Hyppönen, viitattu 17.2.2021
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_6-2_johdanto_luotettavuustekniikkaan.html
- Logistiikka, Logistiikan maailma, viitattu 4.11.2020
<https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/>
- Martinsuo, M. Mäkinen, S. Suomala, P. Lyly-Yrjänäinen, J. 2016. *Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa*. Keuruu: Edita Publishing Oy
- Mitä on logistiikka?, Logistiikan maailma, viitattu 4.11.2020
<https://www.logistiikanmaailma.fi/aineistot/logistiikka-lukiolaisille/mita-on-logistiikka/>
- NSPA, Viitattu 23.9.2021 <https://www.nspa.nato.int/about/nspa>
- O'Connor, Patrick D. T. ; Kleyner, Andre, 2012, *Practical reliability engineering*, Wiley-Blackwell, 5th ed.
- Pica Massimo, 2016, *Systems lifecycle cost-effectiveness : the commercial, design, and human factors of systems engineering*, viitattu 24.1.2021 eBookcollection
- Puolustusvoimat, www.puolustusvoimat.fi/tietoa-meista, viitattu 9.2.2021
- AHP. Pääyöksenteko ja analyyttinen hierarkiaprosessi, AHP, Hannu Villanen, viitattu 8.12.2021 www.prosessitaito.fi/paatoksenteko_AHPn_avulla.pdf
- Riikka Ketvell ja Ida-Lotta Lassila, 2015, *Kriittisyysluokittelu varaosavarastojen hallinnan tehostamisen keinona, kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalous*.
https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/122825/Kandidaatinty%C3%B6_Ketvell_Lassila.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Ritvanen, V. Inkiläinen, A. Von Bell, A. Santala, J. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Saarijärvi: Suomen Huolintaliikkeiden Liitto ry, Suomen Osto- ja Logistiikkayhdistys LOGY ry.

Scott Speaks, Reliability and MTBF Overview, Vicor Reliability Engineering, koostettu R. B. Abernethy, The New Weibull Handbook 4th edition, Abernethy 2000, Reliability Analysis Center, Reliability Toolkit: Commercial Practices Editions, Rome Laboratory julkaisuista

Toiminnanohjausjärjestelmä, Logistiikan maailma, viitattu 5.11.2020

<https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/ohjausjarjestelmat/toiminnanohjausjarjestelma/>

Varastonhallintajärjestelmät, Logistiikan maailma, viitattu 16.12.2020

<https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/ohjausjarjestelmat/varastonhallintajarjestelmat/>

Varastointi, Logistiikan maailma, viitattu 12.11.2020

<https://www.logistiikanmaailma.fi/huolinta-terminaalit/varastointi/>

Liitteet

Liite 1. Kappale 12. Mukana Porin prikaatin kappaleessa. Poistettu julkisesta työstä
Julki (621/1999) 24.1§:n 10k nojalla.