Satelliittipaikannusjärjestelmän hyödyntäminen puolustusvoimissa – toiminnan tehostaminen viimeisen kilometrin kuljetus- ja täydennys-palveluissa

Markus Häyhtiö, sotatieteiden tohtori, vapaa tutkija

Amanda Eklund, väitöskirjatutkija, Aalto-yliopisto, tuotantotalouden laitos, laskentatoimen laitos

Aleksanteri Sirén, väitöskirjatutkija, Maanpuolustuskorkeakoulu, sotataidon laitos

Roosa-Mari Tervonen, yhteiskuntatieteiden maisteriopiskelija, Jyväskylän yliopisto

Abstract

This article explores the potential and constraints of using satellite navigation systems to improve logistic and supplementary services within the Finnish Defense Forces. It highlights the growing reliance on space domain data for maintaining critical societal functions, with a focus on location and communication capabilities essential for modern military operations.

The theoretical framework is derived from general systems theory, where the influence of interdependent or interconnected parts of a whole is studied. This article discusses the significant role of satellite-derived information in military contexts. It also illustrates how European Union directives mandate the protection of critical infrastructure, emphasizing the strategic integration of space domain capabilities into national defense planning. It examines the collaboration between public defense entities and private sector logistics, acknowledging the vulnerabilities such sectors may face during hostile actions.

Through empirical research involving three case studies, the efficiency of logistic operations is evaluated using transaction cost analysis, comparing variables linked to financial efficiency and examining transaction drivers. The results reveal that while technical solutions alone are insufficient for developing last kilometer transport and the tooth-to-tail ratio, the utility of autonomous transport systems in military logistics remains limited under the conditions studied.

The findings indicate that improvements in the last kilometer transport and the "tooth-to-tail" ratio cannot rely solely on technological solutions. Furthermore, the advantages of the autonomous transport system demonstrated in this study are notably limited.

Johdanto

Modernin yhteiskunnan tarve avaruusdomainin tuottamaan tietoon kasvattaa tiedon tärkeyttä ja riippuvuuttamme yhteiskunnan kriittisten toimintojen ylläpidossa (Vatanen 2022, 1). Kriittisen infrastruktuurin tarve ajantasaiselle säätiedolle, paikka- ja sijaititiedolle ja viestiyhteyksille on suuri. Palveluiden kysynnän kasvu, avaruusdomainiin liittyvien palveluiden tarjonnan kasvu ja tekniikan kehitys on luonut toimintaympäristön, joka on otettava aktiivisesti huomioon puolustuksen suunnittelussa, kehittämisessä ja mahdollisessa suorituskyvyn hyödyntämisessä.

Avaruusdomainin tuottaman tiedon rooli sotilaallisessa kontekstissa on merkittävä. Dygnatovskin tutkimuksen valossa käy ilmi, että avaruuden keräämä tieto on keskeinen sotilasoperaatioiden mahdollistaja. Hän viittaa vuonna 2021 julkaisemassaan artikkelissa eversti Richard L. Zellmanin näkemykseen U.S. Army Space and Missile Defence Command/Army Forces Strategic Commandista, jossa korostetaan, että Yhdysvaltain asejärjestelmien toimintakyky nojaa huomattavasti, jopa 70 prosenttisesti, avaruusdomainin tuottamaan informaatioon. (Dygnatowski 2021,133–147.)

Suomi osana Euroopan Unionia (EU) on sitoutunut suojelemaan kriittistä infrastruktuuriaan. Euroopan kriittisen infrastruktuurin suojeludirektiivi velvoittaa jäsenmaan toimiin, joilla pystytään takaamaan elintärkeän infrastruktuurin toimiminen kaikissa olosuhteissa nimetyiltä 11 yhteiskunnan osa-alueelta. Kriittisen infrastruktuurin sektoreita ovat: energiantuotanto, ydinvoimateollisuus, informaatioteknologia, kommunikaatioteknologia, vesi, elintarviketeollisuus, rahoitusala, kuljetusteollisuus, kemianteollisuus, avaruusteknologia ja tutkimusta tukeva toiminta (Coman & Badea 2019, 47–52).

Yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisten palveluiden tarjoajat ja hyödyntäjät, kuten Puolustusvoimat toimivat yhteistyössä yksityisen ja kaupallisen toimijoiden luomassa verkossa. Yksi kriittisen infrastruktuurin osa-alue, logistiikka ja sen toimialoihin kuuluva kuljetusliiketoiminta on avaruusdomainin tuottaman tiedon hyödyntäjä myös kaupallisessa toiminnassa. Nämä logistiikan toimialueella olevat yksityiset palvelut muodostavat vihamieliselle toiminnalle niin sanottuja ”pehmeitä kohteita”. Näihin kohteisiin tehtävä vaikuttaminen on niin asymmetrisen kuin tavanomaisen sodankäynnin keinovalikoimassa ja jopa keskiössä.

Nykyaikaisessa sodankäynnissä logistiikan rooli on entistäkin merkittävämpi, mikä ilmenee muun muassa Ukrainan sodan tapahtumissa. Venäjän kohtaamat haasteet Ukrainassa voidaan osin atribuoida puutteelliseen logistiseen tukeen ja suunnitteluun. Tämä näkyy konkreettisesti tukijoukkojen ja etulinjan taistelijoiden suhteessa: Venäjällä suhde on ollut 5:1, kun taas länsimaissa

tyypillisempi suhde on 10:1, mikä korostaa logistisen tuen merkitystä sotilaallisen menestyksen kannalta (Schwartz ym. 2023, 11).

Kaupallisten toimijoiden kyky ja kuluttajien antama hyväksyntä omien tietojen, kuluttajatottumusten ja muiden henkilökohtaisten tietojen käytölle mahdollistaa kaupallisille toimijoille tavaravirtojen hallinnan erittäin tehokkaasti (Pridmore & Zwick 2013, 103-112). Tämä herättää kysymyksen siitä, miksi vastaavien hyväksi todettujen käytäntöjen soveltaminen asevoimien toiminnassa ei ole yleistynyt laajemmin. On tärkeää huomioida, että suljettujen organisaatioiden, kuten Puolustusvoimien, toiminnan suunnittelu ja ennakoiminen esimerkiksi käyttäjämäärien näkökulmasta, eroaa merkittävästi kaupallisten toimijoiden lähestymistavasta.

Tutkimuksen luoman tiedon hyödyntäminen antaa tutkimustyön jälkeistä kehitystyötä tekeville mahdollisuuden käyttää yhteistä terminologiaa tavoitteiden kuvaamiseen ja seuraamiseen. Tämä on keskeistä, sillä palvelun tai tuotteen ja palvelun yhdistelmän suunnittelu edellyttää syvällistä ymmärrystä asiakkaan tavoitteista ja kokemuksesta palveluprosessin eri vaiheissa (Bitner & Wang 2014, 221–243). Lisäksi Dasu ja Chase painottavat asiakkaan eli tässä tapauksessa Puolustusvoimien, hallinnan tunteen säilyttämisen merkitystä palvelukokemuksen ja kehitystyön onnistumisen kannalta (Dasu & Chase, 2010, 33–39).

Työn rakenne

Työ jakautuu seuraaviin osiin. Ensimmäisessä osassa kirjoittajat tuovat esiin aihealueen aikaisemman tutkimuksen Puolustusvoimissa. Seuraavaksi kuvataan työn tutkimustavoite. Työn kolmannessa osassa esitellään tutkimuksen epistemologinen lähestymistapa ja osan alaluvussa tutkimuksessa käytetty tutkimusmetodi tapaustutkimus. Tutkimuksen neljännen osan muodostaa tutkimuksen viitekehyksen esittely. Työn viidennessä osassa kuvataan jokainen tutkimuksen empiirisen osan muodostavat tapaustutkimukset. Tapausten tulokset käsitellään luvussa kuusi ja tuloksista vedetyt johtopäätökset seuraavat tätä lukua. Tutkimuksen viimeisen osan muodostaa keskustelu, jossa esitetään myös jatkotutkimus-ehdotukset.

Aihealueen aikaisempi tutkimus Puolustusvoimissa

Avaruusdomain riippuvaisen paikannusteknologian tutkimus on Puolustusvoimissa laajaa. Ilmiö on selitettävissä tutkimusaiheen eri puolustushaarat ja

aselajit läpileikkaavalla luonteella. Avaruusdomain on aikaisemmin luonut käyttäjilleen voimatasapainoedun, sen käytön ja suorituskyvyn luonnin korkeiden kustannusten takia. Tilanne on muuttunut, ja esimerkit Ukrainan sodasta osoittavat, että avaruusdomainin avulla saavutettavat suorituskyvyt ovat helpommin ja laajemmin hyödynnettävissä alentuneiden kustannusten ja kasvaneen kaupallisen palvelutarjonnan ansiosta (Maurin 2023, 30–36). Logistiikan ja siihen liittyvän avaruusdomainin hyödyntäminen liittyy myös kaikkiin sotilaallisen maanpuolustuksen johtamistasoihin, lisäten edelleen aihepiiristä tehtyjen tutkimusten määrää.

Pelkästään vuonna 2023 on julkaistu 40 työtä, jotka käsittelevät hakusanojen ”GPS ja logistiikka” aiheita. Hakusana ”paikkatieto” viittaa 81 tutkimusjulkaisuun. Töiden syvällisempi hyödyntäminen osana nyt tehtävää tutkimusta ei ole mahdollista töiden sisältämän turvaluokitellun tiedon takia.

Julkisten, avaruusdomainiin liittyvien töiden lukumäärä on suuri. Hakusanalla ”avaruus” ei kuitenkaan löytynyt yhtään Puolustusvoimissa tehtyä työtä, joka olisi käsitellyt logistiikkaa ja erityisesti kuljetuspalveluita. Myös kaupallinen viimeistä kilometriä koskeva tutkimus on aktiivista. Kansainvälisissä tutkimuksissa urbaani toimintaympäristö, ympäristövaikutukset ja alustatalouden ilmiöt ovat asiaan liittyviä tutkimusaiheita (Bates ym. 2018, 1–14; Olsson ym. 2019, 1).

Tutkimustavoitteet

Tutkimus on osa kirjoittajien tutkimussarjaa, jossa kirjoittajat tutkivat esimerkkien kautta Puolustusvoimien neljää eri pääprosessia:

1. Suorituskyvyn suunnittelu ja kehittäminen
2. Suorituskyvyn rakentaminen ja ylläpito
3. Valmiuden säätely ja suorituskyvyn käyttö sekä
4. Palvelutoiminta.

Nyt tehtävän tutkimuksen kohteena on pääprosessi 3: Valmiuden säätely ja suorituskyvyn käyttö ja sen alaprosessit 3.1., 3.3., ja 3.6. Pääprosessi 3 avulla ”muodostetaan toimintaympäristötietoisuus ja tilannekuva, valvotaan ja turvataan alueellinen koskemattomuus, ylläpidetään ja säädellään valmiutta, perustetaan joukot ja toimeenpannaan operaatiot” (Hukkanen 2017, 4).

Kirjoittajien tarkoituksena on tutkia, kartoittaa ja keskustella avaruusdomainin käytön suorituskykyä parantavista tekijöistä ja käytön mukanaan tuomista mahdollisista riskeistä. Tutkimus lisää mahdollisuuksia löytää, käyttää ja

hyödyntää suorituskyvyn mittareita sotilaallisen tehokkuuden ja vaikuttavuuden hallinnassa ja määrittelyssä. Näiden mittareiden hyödyntäminen auttaa puolustusjärjestelmän käytön suunnittelua, tilannekuvan muodostamista ja logistiikan toimialan operaatioiden toteuttamista. Tutkimus tuo esiin niitä mahdollisuuksia ja uhkia, joita yksityisellä kuljetustoimialalla käytettävät toiminnan optimointimenetelmät voivat aiheuttaa Puolustusvoimien kontekstissa.

Tutkittavan avaruusdomain ja logistiikan toimiala koskettavat Puolustusvoimien suorituskyvyn käsitemallin kaikkia neljää näkymää. Nämä näkymät on kuvattu kuvassa 1 ”Suorituskyvyn käsitemalli”. Lisäksi sotilasliitto NATOn jäsenenä Suomen velvoitteet normaaliolojen harjoittelun avulla ylläpidettävän pidäkkeen ja pelotteen osalta nostavat logistiikan merkitystä.

Keinot, joilla vihamielinen toimija voi vaikuttaa suoraan avaruusdomainiin tai sitä hyödyntäviin muihin domaineihin ovat kaikkea toimintaa läpileikkaavia. Vihamielinen vaikuttaminen on mahdollista tavanomaisen kineettisen vaikuttamisen, kyberdomainin tai elektromagneettisen spektrin hyödyntämisen avulla. Näistä elektromagneettinen spektri on hyvä nostaa esiin, sillä modernin sodankäynnin riippuvuus elektromagneettisen spektrin hyödyntämisestä kaikkien domainien (maa, meri, ilma, avaruus, kyber, informaatio) osalta on suuri (Kirschbaum ym. 2020, 8).

Suorituskyky			
Vaikuttavuusnäkymä	**Kyvykkyysnäkymä**	**Järjestelmänäkymä**	**Elinjaksonäkymä**
Vaikutus Projisointi Olosuhteet	Toimintaympäristö-tietoisuus Johtaminen Verkostotoiminta Vaikuttaminen Suoja Logistiikka Joukkojen tuottaminen Toiminnanohjaus ja tuki	Henkilöstö Materiaali Käyttö- ja toiminta-periaate Organisaatio Informaatio	Vaihe Kustannukset Resurssit
Mikä vaikutus halutaan saada aikaan ajassa, tilassa ja olosuhteissa?	Mitä kyvykkyyksiä vaikutuksen aikaansaaminen edellyttää?	Mikä järjestelmä tai joukko toteuttaa vaaditut kyvykkyydet ja mistä osatekijöistä se muodostuu?	Paljonko kyvykkyyksien tuottaminen ja ylläpito maksaa ja miten se resursoidaan ja aikautetaan?

Kuva 1. Suorituskyvyn käsitemalli

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, onko mahdollista tehostaa ”tooth-to-tail” suhdelukua hyödyntämällä avaruusdomainin tuottamaa tietoa?

Toisena tavoitteena on avata tapaustutkimusten esimerkkien kautta niitä haasteita, joita kuljetus- ja täydennyspalvelut kohtaa ja onko avaruusdomainin tuottaman tiedon hyödyntäminen ratkaisu näihin haasteisiin?

Tutkimuksen tavoitteisiin pyritään pääsemään vastaamalla seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Onko Puolustusvoimien mahdollista hyödyntää avaruusdomainin tuottamaa tietoa tavalla, joka tukee kuljetus- ja täydennyspalveluiden tehokkuutta ja vaikuttavuutta ”viimeisen kilometrin” toimituksiin?
2. Miten paikka, aika ja navigaatiojärjestelmiin kohdistunut vihamielinen toiminta on vaikuttanut esimerkkien valossa kuljetusjärjestelmien optimointiin?

Tutkimusmenetelmä ja tutkimuksen teoreettinen viitekehys

Tutkimuksen epistemologinen lähestymistapa on abduktiivinen. Tässä lähestymistavassa tutkimusaineiston pohjalta luotua mallia tutkitaan ja analysoidaan eri muuttujien vaikutuksen alla. Lähestymistapa on kirjoittajien mielestä perusteltu aiheen tutkimusympäristön asettamien haasteiden vuoksi. Olemassa olevien suorituskykyjen analysointi todellista uhkaa kuvaavissa olosuhteissa ei ole tutkimuseettisesti oikein, eikä mahdollista. Kriittisen suorituskyvyn, kuten kuljetuspalveluiden avaruusdomainista riippuvaisten toimintojen häiriöiden toteuttaminen, todentaminen ja tutkiminen saattaisi vaarantaa yhteiskunnan normaaliolojen toimintoja. Esimerkkinä voidaan mainita paikkatietojärjestelmien häiriöt ja niiden vaikutus niin meri- kuin lentoliikenteelle (Grant ym. 2009, 173–187).

Abduktiivisessa lähestymistavassa on myös tunnistettuja heikkouksista. Yhtenä heikkoutena voidaan mainita se, että lähestymistavassa tulee hyväksyä myös muut kuin tutkijoiden havainnoimat lopputulokset mahdollisina tutkimustulosten selittäjinä (Peirce 2020). Tämän tutkimuksen esimerkit, joita kirjoittajat esittävät, ovat kaikki tapaustutkimuksia. Validiteetin ja reliabiliteetin parantamiseksi tutkimus hyödyntää kriittistä kirjallisuuskatsausta ja tutkijatriangulaatiota (Yin, 1981).

Tieteenalat, joiden tutkimuskohteena on suunnittelu, sitä seuraavien toteutusten ja niiden tulosten arviointi kuuluvat suunnittelutieteisiin. Suunnittelutieteissä voidaan arvioida prosessin syötteiden (input), lopputulosten (output) ja lopputulemien (outcome) vaikutuksia toisiinsa myös määrällisiä

tutkimusmenetelmiä hyödyntäen. Tehtävän tutkimuksen pohjana toimii tutkimuksen tekijöiden oma pohjatieto ja -ymmärrys, johon peilaten tutkimus vuorottelee käytännöllisen ja teoreettisen ajattelun välillä. Tehtävän tutkimuksen lopputuloksena voidaan havaita tutkittavan kohteen johtamiseen ja organisointiin liittyviä kehityskohteita. Tämä vaatii toimintaa eteenpäin vievän prosessin kuvauksen. Kuvattu prosessi voi perustua olemassa olevaan, oikeassa toimintaympäristössä tapahtuvaan todelliseen toimintaan. On myös mahdollista simuloida toiminnan prosessi vastaamaan tutkittavaa todellisuutta hyväksytyn poikkeaman puitteissa, tunnistetut ja mahdolliset muuttujat huomioiden. Kumpikin vaihtoehto vaatii tutkimuksen onnistumiseksi kattavan ymmärryksen tutkittavasta prosessista. Pirkko Anttila käyttää teoksessaan ”Realistinen evoluutio ja tuloksellinen kehitystyö” kehitysprosessien tutkimuksesta nimitystä johtamis- ja hallinto-orientoinut, realistinen evaluaatio (2007).

Tooth-to-tail osion teoreettinen viitekehys on johdettu yleisestä systeemiteoriasta. Yleisessä systeemiteoriassa tutkitaan toisistaan riippuvaisten tai toisiinsa liittyvien kokonaisuuden osien välistä vaikutusta toisiinsa. Mallissa otetaan huomioon tutkittava toimintaympäristö, tutkittavan kohteen toiminto ja rooli sekä edellä mainittujen seikkojen vaikutus kokonaisuuteen (Bertalanffy 1968). Puolustusvoimien pääprosessit 1 ja 2 seuraavat vaatimusmäärittelyn ja -hallinnan periaatteita, jotka ovat olennainen osa Systems Engineeering paradigmaa (Pasivirta & Kosola 2007). Jo tämä vuoksi valittu systeeminen lähestymistapa on perusteltua.

Systeemin eri osien resurssien allokointiin liittyvä päätöksenteko julkisen ja yksityisen toimijan välillä perustuu lisäksi johtamismekanismien oikeanlaiseen suunnitteluun. Suunnittelun ja oikean sopimusmekanismin avulla opportunistiset osapuolet kykenevät yhteistoimintaan molemminpuolisen hyödyn saavuttamiseksi (Williamson 1999, 312). Tämä korostuu edellä kuvattujen normaali- ja poikkeusolojen rajapinnassa tapahtuvassa toiminnassa.

Tutkimuksen tulosten analyysi tehdään transaktiokustannusanalyysiä hyödyntäen. Kirjoittajat vertailevat tapaustutkimuksissa toiminnan taloudelliseen tehokkuuteen liittyviä muuttujia. Lisäksi tarkastellaan tapausten transaktioajureita ja niiden ominaisuuksia. Tutkimusasetelma noudattaa Simonin vuonna 1951 julkaiseman työsopimusteorian periaatteita. Periaatteen mukaan ennalta määritellyn normaalitilanteen poikkeuksissa päätäntävaltaa käyttää sopijaosapuolista tähän tehtävään määritelty taho. Normaalioloilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa yhteiskunnan normaalitilaa ja poikkeustilanteella yhteiskunnan eri häiriötiloja tai haitallisia vaikuttamisyrityksiä. Poikkeustilanteissa sopiminen tapahtuu joko ennakkoon sopimalla, formaalin sopimuksen avulla tai epänormaalin tilanteen realisoituessa (Simon 1951, 293–305).

Transaktiokustannusteorian mukaan toimijoiden päätös osallistua transaktioon on riippuvainen transaktion keskeisistä ominaisuuksista. Ominaisuuksiin voi lukeutua tuotteen spesifisyys, epävarmuus, monimutkaisuus ja tiheys (Williamson 1979, 234). Tapausanalyysissä tarkastelun alaisena oleva logistinen vaihdanta kuvastaa näitä ominaisuuksia erityisesti epävarmuuden osalta viimeisen kilometrin kuljetuksen toiminnan luonteen vuoksi.

Opportunismi muodostaa haasteen yksityisen ja julkisen toimijan välille. Haaste korostuu erityisesti transaktiotuotteiden ollessa fyysistä pääomaa (Macneil 1985, 541–546). Tapausanalyysissä transaktio (taloudellinen kompensaatio) toimii tehdyn analyysin perusyksikkönä. Tutkimuksen kannalta olennainen havainto teorian soveltuvuudesta käsiteltävien tapausten analysointiin on kysymys optimaalisen sopimusmekanismin valinnasta. Public Private Partnership sopimusmekanismina pyrkii pienentämään opportunismin negatiivisia seurauksia. Laajemmin, Macneilin mukaan sopimusoikeuden perustana on fasilitoida vaihdantaa (1985, 543). Yksityisen ja julkisen toimijan välisen yhteistyön periaatteiden mukaisesti toimintaan kohdistuvat riskit ja hyödyt jaetaan toimintatavan periaatteen mukaisesti (Sadka 2007, 466–490). Tämä edellyttää transaktiokustannusten tarkastelua yhteistyössä syntyvien kokonaiskustannusten näkökulmasta jo suunnitteluvaiheessa.

Transaktiokustannusten vaihtelua kuljetuspalveluissa tutkittaessa on välttämätöntä määritellä toimintaympäristö selkeästi. Toimintaympäristön rajaaminen on kriittistä systeemin toiminnan, muuttujien sekä niiden välisen riippuvuuden kuvaukselle ja eri vaihtoehtojen vertailulle. Toimintaympäristössä tulee varmistaa, että häiriötilanteet eivät vaikuta toiminnan suorittamiseen ja että operaatiot määritellään rauhan aikana niin, että kriisitilanteiden operatiivinen suunnittelu ja kehittäminen on mahdollista (*Puolustusministeriö 2013*).

Kustannusten tutkimiseen käytettyä menetelmää on myös kritisoitu. Vuonna 2016 julkaistussa artikkelissaan Boehmke ym. mukaan pelkkä vertailu suorien- ja epäsuorien kustannusten välillä ei huomio yksittäisten toimintojen vaikutusta kokonaisuuteen tai taistelevan osan suorituskyvyn rakentumiseen. Tutkimuksessa kritisoidaan mekaanista toimintolaskentaan perustuvaa arviointia tukevan joukon kustannustehokkuudesta. Boehmke ym. mukaan toimintoperusteinen laskenta soveltuu menojen jakamisen tutkimiseen ei niinkään toimitusketjun ja siihen liittyvän kuljetuspalvelun systeemin kehittämiseen. Menetelmä ei artikkelin mukaan ota huomioon systeemin osien riippuvuussuhteita tai vaikuttavuussuhteita riittävän kattavasti (Boehmke ym., 2016, 309–310).

Tutkimuksen viitekehys

Työssä tutkittavaa ilmiötä kuvataan niin systeemiteorian periaatteiden mukaisesti kuin suunnittelutieteiden periaatteiden pohjalta. Työn seuraavassa osassa kummankin lähestymistavan vaatimuksiin vastaamiseksi kirjoittajat avaavat työn kannalta olennaisimmat ja tutkimukseen aikaisemman pohjatiedon valossa eniten vaikuttavat tekijät.

Public Private Partnership (PPP)

Suomen Puolustusvoimien sidonnaisuus yksityisen sektorin toimijoista suorituskykynsä rakentamisessa ja käytössä on kasvanut, kuten muissakin länsimaissa. Sidonnaisuutta kasvattavina tekijöinä voidaan tuoda esiin sodankäynnin teknistyminen ja uhkakuvien monimuotoistuminen (Tarvainen, 2012). Kansallisten ja kansainvälisten uhkakuvien sekoittuminen, kaupallisen toiminnan riippuvuus kansainvälisistä yhteistyöstä, toimitusketjujen monimutkaistuminen ja siitä johtuva häiriöherkkyyden kasvu on negatiivinen seuraus kasvaneesta riippuvuudesta. Yhteistyön positiivisena seikkana voidaan pitää mahdollisuutta resurssien tarkempaan kohdistamiseen ajallisesti ja paikallisesti, korkeamman osaamistason hyödyntämisen mahdollisuutta ja vaihtoehtoisten toimintatapojen käytön mahdollisuutta (Busch & Givens 2013, 1–19).

Julkisen ja yksityisen sektorin kumppanuuksien roolin kasvaessa teoreettiset tutkimukset näiden kahden yhteiskunnan tärkeän tekijän välillä ovat liian laajoja, ilman tarpeellista kritiikkiä sekä liian usein väittelyä aiempien tutkimusten kehittämiä polkuja (Jacobson & Ok Choi 2008, 637–657). Julkisen ja yksityisen sektorin kumppanuuksilla eri muodoissa on pitkä historia. Kuitenkin kysymykset vastuusta, julkisesti rahoitettujen, voittoa tuottavien yritysten roolista, joilla ei ole demokraattista vastuuta yhteiskunnan jäseniä kohtaan, ovat lisääntyneet ja aiheuttaneet kiivasta keskustelua. Toisaalta yksityistäminen on osoittautunut tuovan kustannussäästöjä, tehokkaampaa palveluiden toimitusta ja joissain tapauksissa vaihtoehtoista rahoitusmuotoa julkiselle infrastruktuurille ja palveluille (Keating & Keating 2013, 176–197). Lisäksi viimeisen kilometrin kustannusvaikutus on toimitusketjulle suurin (Olsson ym. 2019, 1).

NATO ja Public Private Partnership

Puolustusliitto NATO on tutkinut yksityisen ja julkisen toimijan välistä yhteistyötä kattavasti. Yhtenä esimerkkinä voidaan pitää vuonna 2019 julkaistua

teosta ”Public Private Partnerships in NATO context”. Julkaisussa käydään läpi 8 eri valtion tapauksia, joissa PPP on valittu tavaksi kehittää suorituskykyä. Teoksessa määritellään myös PPP NATO laajuisesti, sillä erot liittouman eri maiden välillä vaikeuttivat aiheen yhteistä tulkintaa tutkittujen tapausten kesken. (T.O.N.A.T.O.N.-S.C. 2019.)

Edellä mainitussa tutkimuksessa tarkastellut hankkeet osoittautuivat menestyksekkäiksi, ja tutkijat korostavat julkisen ja yksityisen sektorin kumppanuuden (PPP) roolia transaktiokustannusten vähentäjänä. Tämä johtopäätös noudattaa transaktiokustannusteorian perusteita, samalla kun se ottaa huomioon puolustusvoimien ainutlaatuisen aseman kansallisen sotilaallisen suorituskyvyn tuottajana. Tämä näkökohta on erityisen merkittävä arvioitaessa ylituotannon vaikutusta kansallisen turvallisuuden kontekstissa, jossa se merkitsee investointeihin nähden tehottomuutta ja julkisten varojen käyttöä tavoitteisiin nähden liiallisen kapasiteetin tuottamiseen (Niskanen, 2017).

Muutos yksityisten suorituskykyjen hyödyntämisessä on ollut nopea prosessi. Yhdysvallat johtavana NATO maana kasvatti yksityisten toimijoiden hyödyntämistä niin Afganistanin kuin Irakin operaatioiden aikana. Syitä toiminnan kasvamiselle on useita. Yksityisiin toimijoiden avulla on esimerkiksi haluttu ottaa etäisyyttä konfliktiin, kuten Häyhtiö ja Mattila tuovat esiin tutkimuksessaan (Palokangas 2022, 43–49). Yksityisten toimijoiden käyttö on perustunut myös havaittuun suorituskykyvajeeseen, joko teknologian, osaamisen tai näiden yhdistelmän osalta (Pattison 2008,143–162). Yksityisten toimijoiden käyttö on kuitenkin ollut osittain tehotonta. Kuten James Stavridis ja Evelyn N. Farkas toteavat artikkelissaan The 21st century Force Multiplier: Puplic Private Collaboration: ”Instituutionalisten mallien, ohjeiden, omistautuneen henkilöstön ja koulutuksen puute johtaa myös resurssien sitoutumiseen ”kertaluonteisiin” tai ad hoc -hankkeisiin, kun sama määrä työtä voisi johtaa strategiseen pitkän aikavälin kestävään ohjelmaan” (kirjoittajan käännös) (2012, 7–20).

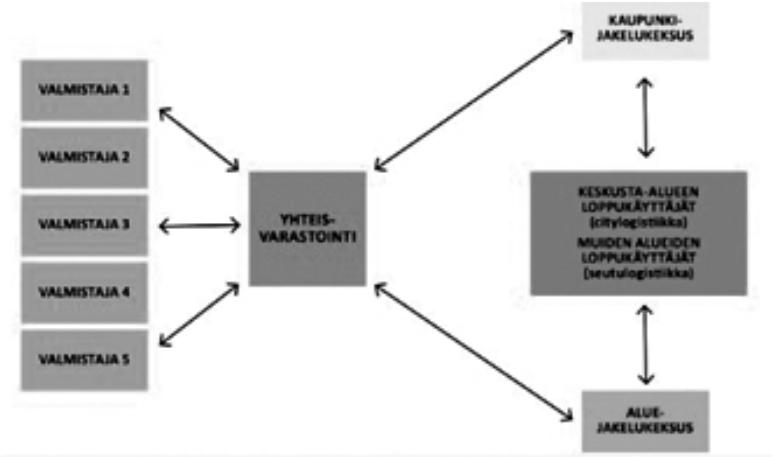
Sotilaslogistiikka

Logistiikan ja kuljetuspalveluiden rooli on merkittävä, jopa ratkaiseva. Ilman edellä mainittujen institutionaalisten mallien ja ohjeiden luomista ei toiminnan optimointi ole mahdollista. NATOn määritelmän mukaan logistiikka on ”tieteenala, joka suunnittelee, koordinoi, ja suorittaa joukkojen kuljetuksen ja huollon kaikilla operaatioiden osa-alueilla, jotka liittyvät materiaaliin, henkilöstön kuljetukseen, palveluiden ja tilojen hankintaan sekä lääkintähuoltoon” (kirjoittajan käännös) (*NATO Logistics Handbook: Chapter 1: Definitions*, 1997).

Sotilaslogistiikan tehokas hyödyntäminen korostuu NATOn kokonaisvaltaisessa lähestymistavassa. Operaatiologistiikan suunnitteluun tulee sisällyttää kaikki operaatioalueella toimivat logistiset sidosryhmät, mukaan lukien siviiliorganisaatiot. Suunnittelun onnistumisen kannalta yhteistyön tulisi alkaa jo suunnitteluprosessin alkuvaiheista, jotta varmistetaan tehokas ja yhtenäinen toiminta (*NATO Logistics Handbook: Chapter 1: Definitions* 1997).

Sotilaslogistiikka toimii linkkinä taistelukentällä toimivien joukkojen ja niiden tukemiseen tarvittavia resursseja tuottavien, hallinnoivien sekä varastoivien tahojen välillä. Tämän alan ainutlaatuisiksi ominaisuuksiksi luetaan kysynnän voimakkaat vaihtelut, kysynnän ennustamisen erityisen suuri haasteellisuus, operaatioiden kiireellisyys, tarjottavien tuotteiden ja palveluiden laajan kirjon hallinta sekä toimitusten kiireellisyysjärjestyksen määrittelyn välttämättömyys. Näiden seikkojen on todettu nostavan viimeisen kilometrin kuljetuskustannuksia myös kaupallisessa toiminnassa (Olsson ym. 2019,1). Näiden haasteiden ratkaiseminen edellyttää toimitusketjun huolellista optimointia, mikä on erityisen kriittistä korkean riskin sisältävissä operatiivisissa ympäristöissä (Acero ym. 2019, 2–3).

Kirjoittajien noudattaman suunnittelutieteiden periaatteiden mukaisesti prosessin kuvaus on välttämätön. Prosessin kuvaamisen lisäksi tuodaan esiin se viitekehys, johon prosessi liittyy osana kokonaissysteemiä. Viimeisen kilometrin kuljetus on logistiikkaketjun osa, jossa toimitettava asia kuljetetaan loppukäyttäjälle (Gevaers ym. 2009). Kuvassa 2 Logistiikkapalvelut ja viimeinen kilometri kohta ”Keskusta-alueen loppukäyttäjät” ja ”muiden alueiden loppukäyttäjät” kuvaa yksinkertaistettuna viimeisen kilometrin kuljetustoimintaa.



Kuva 2. Viimeisen kilometrin kuljetus

Tutkimuksen kannalta mielenkiintoisena lähestymiskulmana voidaan pitää niin sanottua ”Phase Zero” -suunnittelukonseptia. Tämän suunnittelukonseptin lopputuloksena operaatioiden suunnittelijat pystyvät laatimaan toiminnan kannalta ne vaatimukset, joiden täyttämiseen tarvitaan sopimuspohjaista, Puolustusvoimien ulkopuolista suorituskykyä. Lisäksi prosessin aikana luodaan yhteistyösuhteet tavarantoimittajiin ja mahdollisiin tuotantolaitoksiin. Suunnittelukonseptissa tunnistetut yhteistyökumppanit integroidaan suunnitteluprosessiin, mukaan lukien kuljetustoiminnon viimeinen kilometri (Lamm 2023, 27).

Tooth-to-tail

Puolustusvoimien on keskityttävä tooth-to-tail (T3C) -suhteen, eli taistelujoukkojen ja tukihenkilöstön välisen lukumäärällisen suhteen kehittämiseen. T3C-termi viittaa tarvittavan tukihenkilöstön (siviilit, sotilaat ja yksityiset toimijat) suhteelliseen määrään, joka on välttämätön taistelujoukkojen ylläpitämiseksi. Termillä “Tooth” tarkoitetaan henkilöstöä, joka kouluttaa ja suorittaa operatiivisia tehtäviä, kun taas “Tail” viittaa henkilöstöön, joka tukee taistelujoukkoja (Gansler & Lucyshyn 2014, 9).

Global Navigation Satellite System avusteinen maakuljetus

Global Navigation Satellite System (GNSS) on satelliittipohjainen navigointijärjestelmä, joka koostuu kiertoradalla olevien satelliittien verkosta. Järjestelmä tarjoaa sijainti- ja aikatietoja kaikkialla maapallon ympäri tai sen lähellä. Järjestelmä parantaa tuottavuutta monilla sektoreilla ja mahdollistaa tarkan ajan hyödyntämisen muun muassa aikakriittiselle toiminnan synkronoinnille ja algoritmeihin nojaavalle päätöksenteolle (Westbrook 2019, 1–16). Kaupallisen ja sotilasdomainissa käytettävän GNSS-pohjaisen järjestelmän hyödyntämisen perusteet eroavat toisistaan.

Kaupallisessa toiminnassa GNSS:a hyödyntävät maakuljetukset tarvitsevat järjestelmän tuottamaa tietoa toimintansa tehokkuuden optimointiin. Seurannan avulla on mahdollista optimoida kaluston päivittäinen käyttö ja suunnitella käytöstä seuraava elinjaksokohtainen ylläpito. Lisäksi seuranta mahdollistaa paljastamaan mahdolliset väärinkäytökset ja jopa estämään kalustoon kohdistuva rikollinen toiminta (Károly & Németh 2019, 55–67).

Sotilasdomainissa käytettävien paikka- ja aikatietojärjestelmien hyödyntämisellä pyritään saavuttamaan suorituskyvylle määritellyt vaatimukset.

Puolustusvoimissa näitä suorituskykyjä tarkastellaan suorituskyvyn käsitemallin ja Puolustusvoimien pääprosessien viitekehyksissä. Vaikka taloudelliset vaatimukset muodostavat tärkeän osan, niiden rooli ei ole suorituskykyä käytettäessä samanlainen kuin kaupallisessa toiminnassa.

GNSS avusteinen paikkatietojärjestelmä on häiriöaltis. Järjestelmän osiin vaikuttaminen on loppukäyttäjän osalta edullista ja helppoa eikä vaadi häirinnän suorittajalta suuria toimenpiteitä (Pinker & Smith 1999 19–27; Mitch ym. 2011, 1907–1917; Coffed 2014, 6–10; Rezaei ym. 2016, 807–815). Järjestelmään voidaan vaikuttaa yksittäisen laitteen tai kohteen osalta tai aktiivisella häirinnällä voidaan pyrkiä vaikuttamaan suurempiin maantieteellisiin alueisiin (Pırtı & Yücel 2022a). Uhkaan vastaaminen on osa NATOn yhteistä suorituskykyä, jossa kaikki liittouman maat tuottavat uhkaan vastaamiseen vaadittavan suorituskyvyn. GNSS uhkiin vastaaminen on osa Joint Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (JISR) -järjestelmää, jossa liittolaiset tekevät yhteistyötä tietojen keräämiseksi, analysoimiseksi ja jakamiseksi (Ballast 2017, 2).

Julkiseen keskusteluun tuodut esimerkit GNSS-järjestelmiin kohdistuneista vihamielisistä teoista ovat kohdistuneet avaruusdomainin maakomponentin osiin (Pinker & Smith 1999, 19–27; Dygnatowski 2021; Pırtı & Yücel 2022b). Maakomponenttiin kohdistuvat vihamieliset toimet estävät satelliittisuorituskyvyn täysimittaisen hyödyntämisen. Uhka on vaikutuksiltaan suuri, sillä yhteisoperaatioiden suorittaminen vaatii reaaliaikaisen ja luotettavan tiedon käytettävien suorituskykyjen sijainnista, tilanteesta ja tehtävän suoritusvaiheesta sekä luotettavan tiedon avaruus- kuin kyberdomainin hyödyntämisen mahdollisuudesta (Department of Defence 2013, 80). Mikäli suorituskyky hyödyntää yksityistä toimijaa, on tältäkin osin varmistuttava tavoiteltavan sotilaallisen suorituskyvyn vaatimusten saavuttamisesta.

Autonomiset kuljetusjärjestelmät

Autonomisella järjestelmällä tarkoitetaan yleisesti järjestelmää, joka kykenee itsenäisesti täyttämään ihmisen sille antamat tehtävät ja tavoitteet (Williams 2015, 33). Järjestelmän sisältämän autonomian tasoja voidaan kuvata sen riippuvuussuhteesta ihmisen päätöksentekoon, eli kykeneekö järjestelmä toimimaan ilman ihmisen puuttumista sen toimintaan, vai tarvitseeko se ihmisen päätöksentekoa tehtävänsä eri vaiheissa (Springer 2018, 8–9).

Käytössä ja kehitteillä olevat miehittämättömät sekä autonomisia piirteitä omaavat ajoneuvot tukeutuvat oman sijaintinsa määrittämisessä muun muassa satelliittipaikannusjärjestelmiin. Satelliittipaikannusjärjestelmän ohella autonomiset ajoneuvot käyttävät inertiaan perustuvaa paikannusjärjestelmää

(*IMU, Inertial Measurement Unit*). Paikannusjärjestelmät ovat toisiaan tukevia ja täydentäviä. IMU voi aiheuttaa pitkällä matkalla tai aikavälillä kumuloituvaa virhettä, jota GNSS-paikannuksella pyritään pienentämään. Autonominen ajoneuvo käyttää näiden lisäksi myös lähialueen havainnointiin tarkoitettuja sensoreita, kuten esimerkiksi LiDAR-sensoreita *(Light Detection and Ranging*) ja kameroita. (Liu ym. 2020.)

Yleisesti tarkasteltaessa sotilaallisessa kontekstissa autonomisilla järjestelmillä on tarkoituksena korvata ihmiset D3-tehtävissä (*Dull, Dirty, Dangerous),* eli tylsissä, likaisissa ja vaarallisissa tehtävissä (Coker 2015, 88). Tylsät tehtävät voidaan kuvailla tehtäviksi, jotka sisältävät paljon toistoa, jotka eivät anna ihmiselle riittävästi ärsykkeitä ja voivat olla kestoltaan pitkiä. Likaisilla tehtävillä tarkoitetaan tehtäviä, joita tehdään esimerkiksi epämiellyttävissä olosuhteissa, kuten äärimmäisen kuumassa tai kylmässä, tai tehtäviä, jotka tehdään paikassa, jonne ihmisen ei haluta menevät tai jonne ihminen ei pääse. Vaarallisia tehtäviä taas ovat kaikki, joissa on kohonnut riski kuolla tai haavoittua. (Springer 2018, 93)

Autonomiset järjestelmät tulevat toimimaan taistelukentällä voiman moninkertaistajana (*Force Multiplier),* jos yksi ihminen pystyy operoimaan useampaa järjestelmää samanaikaisesti tai jos ihmistä ei tarvita järjestelmän operoimiseen (Scharre 2015, 4). Esimerkiksi kenttähuollon täydennyskuljetukset on mahdollista toteuttaa saattueajona, jossa vain ensimmäisenä ajava ajoneuvo toimii miehitettynä ja loput miehittämättömät ajoneuvot seuraavat ensimmäistä ajoneuvoa. Saattueajon konseptista ja siihen liittyvästä teknologian kokonaisuudesta on käytetty nimitystä *Leader-Follower* (Schulte ym., 2022). Yhdysvaltojen armeijan vuonna 2017 julkaiseman autonomisten- ja robottijärjestelmien strategisen suunnitelman (*Robotic- and Autonomous Systems Strategy, RAS-strategy)* mukaan Yhdysvaltojen armeijan tavoitteena on kehittää Leader-Follower-konsepti täysin autonomiseksi vuoteen 2030 mennessä (*The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy* 2017, 7). Australian vuonna 2022 julkaisemassa *Robotic & Autonomous Systems Strategy*ssa nähdään myös potentiaali Leader-Follower-konseptille sekä täysin autonomiselle huollon kuljetuksille (*Robotic & Autonomous Systems Strategy v2.0* 2022, 16).

Miehittämättömät ajoneuvot voivat hyödyntää myös reittipistenavigointia tai suunnistaa itsenäisesti lähtöpisteestä käsketylle kohteelle. Itsenäinen suunnistaminen tarvitsee ajantasaisen digitaalisen kartta-aineiston ja tiestön. Sotilaallisessa kontekstissa miehittämättömien ajoneuvojen itsenäisen suunnistuksen haasteet muodostuvat liikuttaessa päällystetyn tiestön ulkopuolella (*Research advances autonomous off-road navigation,* 2021).

Teknologian ja tekoälyn kehitys on herättänyt monien maiden kiinnostuksen kehittää autonomisia järjestelmiä asevoimien käyttöön. Autonomiset

järjestelmät nostavat esiin paljon eettisiä kysymyksiä, erityisesti kun puhutaan koneen päätöksenteosta tappavan voimakeinon käyttämisessä (Warren & Hillas 2020; *DoD Directive 3000.09 - Autonomy in Weapon Systems* 2023; *Lethal Autonomous Weapon Systems (LAWS)* n.d.).

Asevoimien tukitehtävissä, esimerkiksi kenttähuollon täydennyskuljetuksissa ongelmat ovat yksinkertaisempia ja järjestelmien käyttöön liittyvät eettiset kysymykset ovat helpompia. Huollon tehtäviin tarkoitettuja järjestelmiä kehitetään ja testataan ympäri maailmaa aktiivisesti. Kehitysprojekteja aiheesta ovat esimerkiksi Euroopassa *iMUGS*-projekti (*The integrated Modular Unmanned Ground System)* (*EDIDP: The iMUGS Consortium demonstrates autonomous missions with robotic systems* 2022) sekä jo päättynyt Yhdysvaltojen ja Ison-Britannian yhteisprojekti *CAAR (Coalition Assured Autonomous Resupply)* (Coalition Autonomous Systems - The Future of Military Logistics 2019). Molemmissa projekteissa oli yhtenä keskeisenä teemana autonomisesti toteutettu viimeisen kilometrin kuljetus.

Oikeudellinen tarkastelu

Joukkojen nopea sijoittaminen ja tukeminen pitkiä aikoja vaatii erityisiä logistisia keinoja viimeisen kilometrin kuljetusten mahdollistamiseksi. Oikeudellisen tarkastelun tutkimusosio tuo esiin näkökulmia sotilaskäytössä olevien taajuuksien hyödyntämismahdollisuuksista siviilitoimijoille ja paikkatiedon mahdollisen hyödynnettävyyden merkityksestä viimeisen kilometrin kuljetusten osalta yksityisen ja julkisen välisessä yhteistyössä Puolustusvoimissa. Tapaustutkimusten oikeudellisessa analyysissä nostetaan esiin EU:n jäsenvaltioiden erilaisia lähestymistapoja GNSS-toiminnan hyödyntämisessä ja yhteistyössä avaruusturvallisuuden ja -puolustuksen alueella. Tutkimuksen kannalta keskeistä on avaruusdomainissa tapahtuva tiedonvaihto.

Avaruusdomainin kasvavan tarpeen myötä avaruustoimijat ovat kehittäneet useita säädösvalmisteluja ja kehittämishankkeita Euroopan turvallisuuden ja puolustuksen vahvistamiseksi (Euroopan komissio ja Euroopan ulkosuhdehallinto 2023, 19). Euroopan avaruusjärjestö (ESA), sekä useat EU:n jäsenvaltiot ovat kehittäneet avaruuden turvallisuutta ja puolustusta koskevia, jäsenvaltioiden erityispiirteitä huomioonottavia strategioita (Cellerino 2023, 491). Nämä linjaukset sisältävät elementtejä, jotka liittyvät tutkimuksemme GNSS-avusteisen maakuljetuksen kannalta olennaiseen avaruustilannetietoisuuteen. Linjauksissa sivutaan myös avaruusliikenteen hallintaa koskevaa sääntelyä.

ESA ja EU ovat yhdessä vahvistaneet avaruuden turvallisuuteen liittyviä tavoitteitaan 10. marraskuuta 2023. Yhteisessä lausunnossa kuvataan Euroopan

avaruustoimialan tulevaisuuden yhteisiä visioista ja tavoitteista (Euroopan unionin neuvosto 2023, 4). Yksi yhteislausunnon keskeisistä tavoitteista liittyy Euroopan autonomian vahvistamiseen avaruuden käytössä ja sen turvallisuuden varmistamisessa. Huomionarvoista tarkastelumme kannalta on, etteivät ESA ja EU koordinoi toimintaa avaruusliikenteen hallinnan osalta, mutta niillä on omat erilliset toimintonsa siviili- ja sotilasyhteistyön yhteensovittamiseen liittyvien haasteiden sekä jäsenvaltioiden näkemyserojen vuoksi. Vuonna 2021 hyväksytty EU:n asetus (EU) 2021/696 on toiminut perustana avaruusvalvonnan ja seurantaan keskittyvän kumppanuuden luomiselle. Asetukseen liitetyt kirjaukset avaruustilannetietoisuuden laajentamista koskien osoittavat pyrkimystä tarjota avaruusvalvonta- ja seurantapalveluita myös yksityisille toimijoille. Tämä ylittää perinteisen avaruuspolitiikan tieteelliskaupallisen lähestymistavan. Lisäksi avaruusvalvontaan ja seurantaan keskittyvä yhteistyö tarjoaa operatiivista tilannetietojärjestelmäpalvelua myös yksityisille toimijoille ja sillä on oma sensoriverkostonsa (Euroopan komissio 2021, 4). Olennaista nykyisessä avaruusvalvonnan ja seurannan tukikehyksessä on sen pyrkimys varmistaa Euroopan ja kansallisen avaruusinfrastruktuurin ja -palveluiden pitkäaikainen saatavuus.

Lähestymistapaerot avaruustoiminnan hallinnointiin EU:n jäsenmaissa

GNSS-systeemiä hyödynnetään kaksikäyttöisesti. Kaksoiskäyttöisyys muodostaa erityisen sääntelyhaasteen. Järjestelmän luonne hämärtää perinteisiä sotilasteknologiaan kuuluvia käsitteellisiä rajoja. Tämä tekee rajoitusten asettamisen kautta tapahtuvasta kontrollista haastavaa yksityisten ja julkisten toimijoiden osalta. Ranskassa ja Saksassa on omat lähestymistapansa yksityisen ja julkisen väliseen toimintaan avaruusturvallisuuden ja puolustuksen osalta. Siviili- ja sotilasyhteistyön vauhdittamiseksi EU ja ESA pyrkivät erillisten ja yhteisten ohjelmiensa kautta kannustamaan erilaisten toimijoiden yhdistämistä ja liittoutumista. Esimerkkinä tästä toimii vuonna 2021 perustettu, 15 EU-jäsenmaata kattava Euroopan unionin avaruusohjelmavirasto, joka on osa EU:n avaruusohjelman avaruustilannetietoisuutta kehittävää yhteistyötä.

Ranskan hiljattainen lainsäädäntöuudistus *La loi de programmation militaire* (LPM) määrittelee maan puolustuksen rahoituksen ja strategiset suuntaviivat vuosille 2024–2030. LPM:n yhteydessä yksityisen ja julkisen sektorin yhteistyön osalta kyse on erityisesti puolustusteknologian kehityksestä ja innovaatioista. Näillä pyritään vahvistamaan Ranskan sotilaallisia kyvykkyyksiä sekä vastaamaan nykyaikaisen taistelukentän haasteisiin. Ranskan osalta kaksoiskäyttöiset

operatiiviset avaruustilannetietoisuuteen liittyvät toiminnot on järjestetty kolmitasoisesti. Ohjelmallisella ja päätöksentekotasolla Ranskan avaruusjärjestö ja Ranskan puolustusministeriö tekevät yhteistyötä suorituskyvyn edistämiseksi ja prioriteettien määrittelemiseksi. Ranskassa operatiivinen toiminta avaruusalalla jakautuu kahteen päätoimintakeskukseen: sotilaalliseen COSMOSiin, joka huolehtii ilmatilan ja avaruuden puolustuksesta, ja Ranskan avaruusjärjestön hallinnoimaan siviilikeskukseen, jonka tehtävänä on arvioida yksityisten ja julkisten toimijoiden yhteistyön koordinointia (COPUOS 2022, 3–26).

Saksa edistää Ranskan ohella avaruusdomainissa tapahtuvaa julkisten ja yksityisten toimijoiden yhteistyötä. Saksan avaruusstrategia vuodelta 2010 tunnustaa siviili- ja sotilasavaruustutkimuksen väliset synergiaedut ja korostaa kansallisen osaamisen kehittämisen tarvetta avaruustilannetietoisuuden alueella käyttäen olemassa olevia resursseja (BMWK, 2023). Tähän kuuluu olennaisesti paikkatietoulottuvuus. Lisäksi Saksan ilmavoimien esikunnassa toimii erityinen Avaruustoimisto, joka kuuluu osaksi ilmavoimien operaatiokeskusta. Huomionarvoista on, että toimisto tekee yhteistyötä Saksan avaruuskeskuksen (DLR) kanssa avaruusvalvonnan ja seurannan sekä avaruustilannetietoisuuden alueella korostaen paikkatietoon liittyvän dimension huomioonottamista (Vogel 2020). Saksa korostaa siviili- ja sotilasavaruustutkimuksen välistä yhteistyötä myös vuoden 2017 Bundeswehrin strategisissa suuntaviivoissaan (Ministry of Defence of Germany, 2017).

Suomen tilanne GNSS-toiminnan ja signaalitaajuuksien osalta

Suomessa Puolustusministeriö vastaa avaruustoiminnasta annetun lain (63/2018) valvonnasta sekä Puolustusvoimien avaruustoiminnan yleisestä ohjauksesta ja valvonnasta. Valvontaelementti lukeutuu Puolustusvoimissa Ilmavoimien vastuualueelle sotilaallisen avaruustilannekuvan muodostamisen osalta. Puolustusvoimien operaatiopäällikkö vastaa puolestaan avaruussuorituskykyjen kehittämisestä (Valtioneuvosto 2023, 39). Puolustusvoimien sotilaskäytössä olevien sotilaalliselle maanpuolustukselle annettuja taajuusalueita hallitsee Puolustusvoimat. Taajuushallinnan ohjaamisesta vastaa puolestaan Pääesikunnan johtamisjärjestelmäkeskus (PVJJK), joka määrittää yleisjärjestelyt ja vastuut sekä neuvottelee taajuuksien saamisesta sotilaskäyttöön (Kosola & Jokinen 2004). PVJJK vastaa myös taajuushallinnan käytännön toteuttamisesta Pääesikunnan alaisuudessa. Lisäksi se ylläpitää taajuustilannekuvaa ja taajuuksien käytön tietopankkia sekä jakaa Puolustusvoimien käytössä olevat sotilastaajuusalueet. Taajuuksien salassapitoa ohjaa kansallinen turvallisuuslainsäädäntö, joiden puitteita ohjaa Sotilastiedustelusta annettu laki (26.4.2019/590),

joka määrittää lain 10 §:n 5 alakohdassa tutkimukselle olennaisen käsitteen sijaintitieto sähköisen viestinnän palveluista annetun lain (917/2014) 3 §:n 18 kohdan nojalla. Tästä kokonaisuudesta juontuu sotilasviestinnän ja -teknologian suojaamista koskevan sääntelyn puitteet.

Sekä signaalien taajuuksien salassapito että autonomisten järjestelmien käyttö logistisessa kontekstissa kytkeytyvät kuitenkin osaksi laajempaa kansainvälistä säädöspohjaa. NATO mahdollistaa siviilisignaalien hyödyntämisen yksityisten toimijoiden osalta yhteistyössä Puolustusvoimien kanssa tiettyjen reunaehtojen puitteissa. Tätä tarkoitusta varten NATO on perustanut yhteisen siviili-sotilastaajuussopimuksen ”NATO Joint Civil/Military Frequency Agreement” vuonna 2014, joka otetaan huomioon jäsenmaissa radion taajuussuunnittelun ja pysyväisasiakirjojen laatimisen ja niistä juontuvien soveltamisohjeiden perustana. Laajemmin jäsenmaiden “harmonisoitujen sotilastaajuuksien” tarkoituksena on tarjota yhteinen sotilasfrekvenssiresurssi, joka mahdollistaa järjestelmien toiminnan yhteisillä raja-alueilla. Tarkoituksena on sujuvoittaa yhteisharjoituksia ja -operaatioita sekä sisältää perustaajuusvarat päivittäiseen koulutukseen, harjoitteluun, taisteluvalmiuteen ja siirtoihin. (NJFA 2014.)

Tapaustutkimukset

Tutkimuksen empiirinen aineisto koostuu kolmen eri logistiikkakuljetuspalvelun tapaustutkimuksista, joissa tarkastelun kohteena ovat viimeisen kilometrin toimitukset. Viimeisen kilometrin toimituksilla viitataan kuljetusprosessiin, jossa hyödykkeet toimitetaan suoraan loppukäyttäjälle. Vaikka termi viittaa nimenomaisesti matkan viimeiseen osuuteen, tässä tutkimuksessa painotetaan erityisesti tuotteen loppukäyttäjän tavoitettavuutta, riippumatta kuljetuksen todellisesta pituudesta. Tutkijat ovat myös rajoittaneet tutkimuksensa kohdetta siten, että erityistä huomiota kiinnitetään elintarvikkeiden vähittäiskauppaan loppukäyttäjänä. Tämä valinta perustuu tutkimuksen keskiössä olevan tuotteen myyntiä ja jakelua säätelevään lainsäädäntöön.

Kolmen tapaustutkimuksen tulokset muodostavat kokonaisuuden, jonka perusteella on mahdollista arvioida viimeisen kilometrin kuljetuksen haasteita sotilasdomainissa. Jokainen tapaus on oma itsenäinen tutkimuksensa, mutta saman ilmiön tutkiminen kolmea eri tapaustutkimusta hyödyntäen lisää tutkimuksen luotettavuutta.

Pätevä tapaustutkimusmenetelmä vaatii aineiston trianguloinnin, kuten Rothbauer esittää (2008). Triangulaatio voi koostua kolmesta eri triangulointi tavasta:

1. Aineistotriangulointi
2. Tutkijatriangulointi
3. Menetelmätriangulointi

Aineiston triangulaatioprosessin aikana tutkija tutkii useita tietolähteitä löytääkseen yhteisiä tuloksia tutkittavasta aiheesta. Aineiston triangulaatio sisältää todentamisen ja analysoinnin näistä lähteistä. Tämä menetelmä oli käytössä tutkimuksen ensimmäisessä tapaustutkimuksessa. Tutkijatriangulaatiossa aihetta tutkii useampi kuin yksi tutkija. Kaikkien kolmen tapaustutkimuksen tiedon analysointiin osallistui enemmän kuin yksi kirjoittajista.

Menetelmätrianguloinnissa käytetään useampaa kuin yhtä tutkimusmenetelmää ongelman ratkaisemiseksi. Menetelmätriangulaatio oli käytössä toisessa tapauksessa. Tässä tutkimuksessa aineiston triangulaatio auttoi löytämään selityksiä kunkin yksittäisen tapauksen löydöksille ja yhtäläisyyksiä eri tapausten välillä. Tämä on erittäin tärkeää kirjoittajien valitseman tieteenfilosofisen lähestymistavan, abduktiivisen päättelyn takia. Menetelmätriangulaatio auttoi lisäämään tulosten reliabiliteettia ja validiteettia kuitenkaan unohtamatta mahdollisten muiden selittäjien vaikutusta tutkimuksen lopputuloksiin.

Tapaustutkimus 1

Ensimmäisessä tapauksessa tutkitaan yhden sotaharjoituksen ajan Puolustusvoimien kuljetus- ja täydennyspalvelun tehokkuutta. Tutkittavana kohteena on yhden ajoneuvon käytön kustannukset harjoituksen ajan suhteutettuna kuljetettavan materiaalin painoon.

Harjoitus järjestettiin vuoden 2024 maaliskuussa Etelä-Suomen alueella. Tutkimuksessa tarkasteltiin harjoitukseen osallistuvan yhden perusyksikön yhtä ajoneuvoa. Tapaustutkimuksen data kerättiin hyödyntäen osallistuvaa havainnointia, jonka aikana kerättiin määrällistä dataa analyysia varten. Tehdyllä menetelmätriangulaatiolla haluttiin nostaa tutkimuksen validiteettia ja reliabiliteettia.

Varuskunta-alue toimi täydennettävän materiaalin välivarastona ennen loppukäyttäjää, harjoitukseen osallistuvaa perusyksikköä. Kuljetukseen käytettävän kaluston maksimi kuljetuskapasiteetti on 4560 kg. Lisäksi ajoneuvoon pystytään liittämään peräkärry tai muuta vedettävää kuljetuskalustoa. Kuljetettavan materiaalin paino ja kuljetettavien nimikkeiden lukumäärä saatiin elintarvikkeet tarjoavan yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä.

Tutkimuksen kohteena oleva ajoneuvo liikkui varuskunta-alueen ja kohdealueen väliä tutkimusajankohdan aikana. Poikkeuksen muodosti torstain

kuljetus, jossa täydennyspalvelu seurasi harjoittelevaa joukkoa ryhmitysalueen lähialueelle. Kuljetuksissa ei hyödynnetty GNSS-palvelua.

Tapaustutkimus 2

Toisena tapaustutkimuksena on kaupallisen päivittäistavarakaupan toimija. Tutkittavana kohteena on ajoneuvon käytön kustannukset suhteutettuna kuljetettavan materiaalin kilomäärään. Tutkittava toiminto käsittelee elintarviketeollisuuden yritystä, jonka toimitusketjuun kuuluu niin kaupallisia loppukäyttäjiä kuin vähittäiskaupan toimipisteitä. Yritys on ulkoistanut kuljetuspalvelunsa yksityisille yrittäjille. Kuljetuspalvelua tuottavien yritysten rahallinen korvaus määritellään kuljetettavien yksiköiden ja kuljetukseen käytettyjen kilometrien perusteella.

Tässä tapauksessa käytetty data kerättiin suoraan tutkitun yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä, yrityksen itsensä toteuttamana ja tutkijoiden antamien ohjeiden mukaisesti. Välttääksemme tulkintavirheet, raakadatan läpikäynti suoritettiin kahdesti yhteistyössä yrityksen edustajan kanssa. Aineiston analyysiin käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa, jonka avulla data muokattiin vertailukelpoiseen muotoon, mahdollistaen eri tapaustutkimusten vertailun.

Tutkittava yritys sijaitsee alueella, jossa siirtymämatkat ovat tyypillisesti pidempiä kuin ensimmäisessä tapaustutkimuksessa tarkastellulla alueella. Tämä tutkimuskohde on kuitenkin erityisen relevantti, ottaen huomioon, että tutkimuksen viitekehyksessä keskitytään viimeisen kaupunkivaraston (tässä tapauksessa elintarvikeyrityksen toimitilat) ja tuotteen loppukäyttäjän väliseen kuljetukseen. Maantieteellisen sijainnin aiheuttaman pidemmän siirtymämatkan vuoksi siirtymäaika, lastaukset ja purkutoimet muodostavat merkittävän osan viikoittaisesta työajasta, noin kolmanneksen 62 tunnin viikkotyöajasta.

Kuljetuksen maksimikapasiteetti kiloina on 23000 kiloa. Tämä kuljetettava maksimikilomäärä muodostuu 36 PANEURO-lavasta. Yhden lavan koko on 1200 mm x 800 mm. Kuljetukseen hyödynnetyn tilavuuden määrittäminen ei ole tapauksessa relevanttia, sillä saman tilavuuden vievien tuotteiden paino eroaa merkittävästä kuljetuksessa käytettävän pakkausmateriaalin vuoksi. Kuljettaja vastaa itse kuorman purusta ja lastaamisesta niin elintarvikeyrityksen pisteessä kuin asiakasyritysten toimipisteissä.

Kuljetusten seuranta on mahdollista GNSS avulla, ja satelliittipohjaista paikannusta käytetään yrityksessä kuljetuskapasiteetin optimointiin tuottajalle palautuvan materiaalin osalta. Varsinaiseen tavaran kuljetukseen reaaliaikaisen paikkatiedon hyödyntäminen on haastavaa. Suomen lainsäädäntö

ei mahdollista tutkittavan yrityksen tavaroiden jakelua vapaasti sen asiakastoimialan sisällä esimerkiksi asiakkaan toimipisteiden A ja B välillä. Lisäksi kuljetuksien lastaus ja purku on asiakasyritysten asettamien vaatimusten takia vakioitua.

Tapaustutkimuksen aineisto on kerätty yrityksen käyttämän, yrityksen oman toiminnan suunnittelun pohjana olevan referenssiviikon ajalta. Elintarvikeyrityksen tuotteessa on kysynnästä aiheutuvaa suurta kausivaihtelua, jonka vaikutus on historiatiedon perusteella tutkimuksen kohteena olevan viikon aikana pienintä kalenterivuoden aikana. Kyseisen viikon tulosten tarkastelu mahdollistaa mahdollisimman neutraalin tiedon hyödyntämisen analyysin pohjana. Viikon aikana suoritettiin kuljetuksia 134 tilauksen verran. Näistä kuljetuksista valtaosa 97kpl/ 134 tilauksesta kohdistui vähittäiskaupan asiakkaille. Suoraan loppukäyttäjälle toimitettujen kuljetusten lukumäärä oli 37 kpl/134 tilauksesta.

Tapaustutkimus 3

Kolmannen tutkittavan kohteen muodostaa mallinnettu kuljetuspalvelu, joka toteutettiin autonomisen tavarakuljetuksen keinoin. Ajoneuvona toimii ensimmäisessä tapauksessa käytetty ajoneuvo, joka on varusteltu autonomiapaketilla. Autonomiapaketin avulla ajoneuvo kykenee operoimaan ilman kuljettajaa. Autonomiapaketin ominaisuudet perustuvat Rheinmetall-yrityksen valmistamaan PATH A-kit autonomiapakettiin *(Proven, Agnostic, Trusted and Highly Autonomous Autonomy-kit)* (Rheinmetall n.d.). PATH A-kit on kaupallisesti hankittavissa oleva tuotekokonaisuus ja siksi valikoituitu tapauksen esimerkiksi. Autonomiapaketin ominaisuuksiin kuuluu Leader-Follower-toiminto, etäohjaus, reittipistenavigointi sekä itsenäinen navigointi käsketylle kohteelle. Ajoneuvo toimii ilman kuljettajaa, mutta ajotehtävät ajoneuvolle antaa sotilasjoukon organisaatioon kuuluva ihminen. Ajoneuvo hyödyntää GNSS-palvelua oman sijaintinsa määrittämiseen yhdessä muiden sensorien kanssa.

Tutkittavana kohteena on ajoneuvon simuloidun käytön kustannukset suhteutettuna kuljetettavan materiaalin simuloituun painoon. Tutkittava kohde on sama kuin tapaustutkimuksen ensimmäisessä osiossa, Puolustusvoimien sotaharjoitus Etelä-Suomessa vuoden 2024 maaliskuun aikana. Ensimmäisen tapaustutkimuksen data hyödynnetään simulaation pohjana.

Miehittämättömän ajoneuvon autonomiset ominaisuudet näyttäytyvät ajoneuvon suorittaessa sille annettua tehtävää. Ihminen asettaa ajoneuvolle sen tehtävän ja tavoitteen lähtöalueella, esimerkiksi perusyksikön jakopaikalla. Tehtävänä voi olla täydennyksien toimittaminen jollekin tietylle joukolle jollain tietyllä alueella ja palaaminen takaisin samaa reittiä lähtöpisteeseen.

Ajoneuvolle käsketään siirtymisreitit reittipisteinä, samoin kun sotilaalle käskettäisiin käytettävä siirtymisreitti. Autonominen ajosuoritus voi päättyä tiettyyn reittipisteen pisteeseen, josta täydennyksiä vastaanottava joukko ottaa ajoneuvon hetkellisesti etäohjaukseen. Kun joukko on saanut täydennykset, eli ajoneuvo on toteuttanut ensimmäisen osan tehtävästä, on tuettavan joukon etäohjattava ajoneuvo takaisin reittipisteiden alkuun ja/tai kuitattava tehtävä suoritetuksi. Vasta tämän jälkeen ajoneuvo voi toteuttaa tehtävänsä seuraavan vaiheen, eli autonomisen siirtymisen takaisin lähtöpisteeseen.

Ensimmäisen tapaustutkimuksen ajosuoritukset toimivat tämän tapauksen pohjana sillä erolla, että kuljetus tehdään autonomiapaketilla varustetulla miehittämättömällä ajoneuvolla. Kaikki ensimmäisen tapauksen ajosuoritteet on mahdollista toteuttaa autonomiapaketin avulla joko etäohjattuna, reittipistenavigointina, Leader-Follower-toiminnolla tai näiden yhdistelmällä. Ihminen suunnittelee ja asettaa tarvittavat toiminnot ajoneuvolle. Kun ajoneuvo poistuu merkityltä tieltä maaston puolelle, tulee ajoneuvoa operoivan ihmisen tarvittaessa käyttää etäohjausta, reittipistenavigointia tai näiden yhdistelmää saadakseen ajoneuvo kohteelle.

Tulokset

Tuloksissa tarkastellaan jokaista yksittäistä tapaustutkimusta. Näiden tapaustutkimusten lopputulosten perusteella tutkijat vastaavat työn tutkimuskysymyksiin.

Tapaus 1, Tutkimuksen kohde oli Puolustusvoimien poikkeusolojen joukkotuotettavan yksikön viimeinen harjoitus. Harjoittelevan yksikön koko ja materiaali noudattivat poikkeusolojen suunniteltua vahvuutta. Materiaalitäydennyksiä suorittava osa kuului orgaanisesti harjoittelevaan joukkoon. Tämä oli tutkittavan ajoneuvon käytön kannalta tärkeä tieto, sillä ajoneuvon käyttö ei rajoittunut vain täydennysajoihin. Ajoneuvoa hyödynnettiin myös yksikön koulutuksessa erilaisilla tehtävärasteilla. Tehtävärastien aikana ajetut kilometrit ja kuljetettu kalusto ei huomioitu tässä tutkimuksessa. Käytetyn ajoneuvon kuljetuskapasiteetti on kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1 Ajoneuvon kuljetuskapasiteetti

kuljetuskalusto	lavavetoisuus	lavatyyppi	kantavuus kg (hyötykuorma)
vetoauto	5	EUR	4560 kg
kärry	-	-	1075 kg
			5635 kg

Ensimmäinen kuljetuksen aikana ajoneuvo siirsi myös harjoituksen aikana hyödynnettävää muuta kalustoa. Tutkijat laskivat saadun tiedon perusteella tarkasteluviikon kuljetuksen hyötysuhteen jakamalla kuljetusten bruttokilot kuljetusten maksimikapasiteetilla. Kuljetuskapasiteetin bruttokilot jaettuna toteutuneilla kuljetuksilla on esitetty taulukossa 2.

Harjoituksen ensimmäisenä päivänä kuljetettiin myös tuettavan joukon alueelle materiaalia kuljetusajoneuvolla vetäen. Kuljetettavan materiaalin (kenttäkeitin) paino oli 920 kiloa. Keittimen maksimi kuljetuskyky on 150 litraa nestettä. Yhdistelmän hyötysuhde on laskettu toisena hyötysuhteen suureena taulukossa 2. Kuten tapauksessa 2, kuljetettavaa materiaalia ei varastoida ennen loppukäyttäjän säilytystä. Tämän takia siirtoajo on huomioitava osana tutkimusta. Hyötysuhdeluku, johon on laskettu mukaan vedettävän peräkärryn paino, on merkitty alla olevissa taulukoissa symbolilla *.

Taulukko 2 Kuljetusten bruttokilot ja hyötysuhde

viikonpäivä	bruttokilot	hyötysuhde kuljetettu/max
	Bruttokilot yhteensä/ 1 vko	
ma	700 kg / 1620 kg*	0,15/ 0,35*
ti	-	-
ke	702 kg	0,15
to	1076 kg / 3081 kg*	0,24 / 0,55*
pe	493 kg / 1418 kg*	0,10 / 0,25*
bruttokilot keskiarvo, hyötysuhde keskiarvo	742 kg / 1705 kg*	0,16 / 0,33*

Yksittäiseen kuljetuskohteeseen viedyn materiaalin ja materiaalin keskiarvopainot on kuvattu taulukossa 3.

Taulukko 3 Kuljetusten päivittäiset kilometrimäärät ja jakelumäärät kiloina

viikonpäivä	käyntipaikat	ka kilot/ paikat	kilometrit
	6 yhteensä / vko		321,4 km yhteensä/ vko
ma	1	700 kg / 1620 kg*	54
ti	-	-	-
ke	2	351kg	112
to	2	538 kg / 1540,5 kg*	99,7
pe	1	493 kg / 1418 kg*	55,7
keskiarvo vko	1,4	347 kg	64,3 km

Tapaustutkimusten vertailun mahdollistamiseksi kirjoittajat laskivat yhden kuljetuskilometrin tehokkuutta kuvaavan suureen *hinta/km*. Suure koostuu kuljetukseen käytetyn kapasiteetin ja kuljetuksen maksimikapasiteetin suhteesta. Saadulla luvulla jaettiin kuljetuksiin kohdennettava muuttuva kustannus, joka muodostuu polttoainekustannuksista. Polttoainekustannus lasketaan harjoituksen aikana kulutuetun polttoaineen keskimääräisellä hinnalla. Hintatieto on kerätty riippumattoman vertailusivuston tiedoista. Koko viikon polttoainekustannus oli € 197,-. Kilometriin käytetyn polttoaineen keskikustannus oli € 0,61. Tämä luku kerrottiin kuljetuksiin käytetyllä kilometrimäärällä. Suure kertoo lukijalle suoraan käytetyn kuljetuskapasiteetin taloudellisen tehokkuuden. Luku kuvaa kuljetuspalvelun hyödyntäjän, perusyksikön transaktiokustannusta. Tässä luvussa ei ole otettu huomioon toiminnasta muodostuvia hallinnollisia kustannuksia. Tulokset on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 4 Vertailusuureen hinta € / km muodostaminen ja vertailusuure

	kilometrit	bruttokilot	kantavuus kg (hyötykuorma)	hyötysuhde kuljetettu/max	hyöty-suhde/km	vertailusuure hinta € /km
yhteensä/ vko	321,4 km	2971 kg / 6826 kg*				
ma	54 km	700 kg / 1625 kg*	4560 kg /5485 kg*	0,15/ 0,3 *	8,1 / 16,2*	€ 4,10 / € 2,0*
ti	-	-	-	-	-	-
ke	112 km	702 kg	4560 kg	0,15	16,8	€ 4,10
to	99,7 km	1076 kg / 3081 kg*	4560 kg/ 5635 kg*	0,24 / 0,55*	23,9 / 54,8*	€ 2,50 / € 1,10*
pe	55,7 km	493 kg / 1418 kg*	4560 kg /5485 kg*	0,10 / 0,25*	5,6 / 13,9*	€ 6,10 / € 2,40*
ka / viikko	64,3 km	594 kg / 1224 kg*	-	0,13 / 0,22*	10,9 / 20,3*	€ 4,20 / € 2,40*

Tapaus 2, Tutkimuksen kohde oli yksityinen, elintarvikealalla toimiva kuljetustoiminto. Tutkimusmateriaali saatiin yrityksen omasta toiminnanohjausjärjestelmästä. Havaintojen rajallisuus ei mahdollistanut nyt esitettäviä tuloksia laajempien tilastollisten analyysien tekoa. Kuitenkin yrityksen edustajan kanssa käydyn haastattelun perusteella aineiston voidaan katsoa edustavan kattavasti ja tarpeellisella tarkkuudella yrityksen kuljetustoimintaa. Toiminnan tarkastelun ulkopuolelle on jätetty laskutukseen ja toiminnan hallinnoinnin muodostavat kustannukset.

Yrityksen tapaustutkimuksessa käyttämä kuljetuskalusto koostuu vetoautosta ja peräkärrystä. Kuljetuskapasiteetin optimoinnissa kuorman tulisi olla mahdollisimman lähellä joko vetoauton maksimikantavuutta (13000 kg)

tai yhdistelmän maksimikantavuutta (23000 kg). Kuljetuspalvelua käyttävän yrityksen kustannukset kilometriä kohti eivät muutu kuljetusmuodon muuttuessa. Kuljetuskaluston kuljetuskapasiteetti ja tilavuustiedot on kuvattu taulukossa 5.

Taulukko 5 Kuljetuskaluston kuljetuskapasiteetti

kuljetuskalusto	lavavetoisuus	lavatyyppi	kantavuus kg (hyötykuorma)
vetoauto	20	PAN EUR	13000 kg
kärry	16	PAN EUR	10000 kg
	36		23000 kg

Tutkijat laskivat saadun tiedon perusteella tarkasteluviikon kuljetuksen hyötysuhteen jakamalla kuljetusten bruttokilot kuljetusten maksimikapasiteetilla. Kuljetuskapasiteetin bruttokilot jaettuna toteutuneilla kuljetuksilla on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6 Kuljetusten bruttokilot ja hyötysuhde

viikonpäivä	bruttokilot	hyötysuhde kuljetettu/max
	Bruttokilot yhteensä/ 1 vko 56 223 kg	
ma	7 142 kg	0,55
ti	11 261 kg	0,87
ke	12 241 kg	0,94
to	14 712 kg	0,64
pe	10 867 kg	0,84
bruttokilot keskiarvo, hyötysuhde keskiarvo	11 245 kg	0,86

Yrityksen laajan toimintaympäristön ja jakelutuotteen ominaisuuksien takia yritys ei käytä tutkimuksen alueella välivarastointia. Kuljetus toimitetaan tuotannosta myyntiin suoraan tehtaalta. Kuljetuksiin käytetty siirtymäajo tehtaalta myyntipisteisiin ja kuljetettavien tuotteiden purku ja lastaus vie viikkotyöajasta n. 1/3. Kuljetusten päivittäiset kilometrimäärät, käyntikohteiden lukumäärä ja jakelumäärien keskiarvo kiloina on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7 Kuljetusten päivittäiset kilometrimäärät ja jakelumäärät kiloina

viikonpäivä	käyntipaikat	ka kilot/ paikat	kilometrit
	126 yhteensä / vko		1243 km yhteensä/ vko
ma	18	396,8 kg	236 km
ti	26	433,1 kg	285 km
ke	34	360,0 kg	217 km
to	25	588,5 kg	263 km
pe	23	472,5 kg	242 km
keskiarvo vko	25,2	450,2 kg	248,6 km

Päivittäisen jakelupaikkamäärän ja kuljetetun kokonaiskilomäärän suhteesta on havaittavissa mielenkiintoinen seikka. Keskiviikkona on toimitettu tavaraa 34 jakelupisteeseen, mutta kokonaiskuljetus on n. 2500 kg vähemmän kuin maksimipäivänä torstaina. Toisaalta torstain bruttopaino ylitti kuljetusauton maksimikuljetuskyvyn, vähentäen kuljetuskapasiteetin hyötysuhdetta. Kirjoittajat eivät voi ottaa kantaa peräkärryn avulla nostetun kuljetuskapasiteetin kustannus- tai hyötyvaikutuksiin muutoin kuin kasvaneen bruttokapasiteetin osalta puuttuvan datan takia. Tämä takia taulukossa 8 esitettyyn hinta /km lukuun torstain kohdalla (*) tulee suhtautua kriittisesti.

Kuten tapauksessa 1, kirjoittajat laskivat yhden kuljetuskilometrin tehokkuutta kuvaavan suureen *hinta/km*. Luku muodostuu elintarvike yrityksen kuljetuksen kustannuksesta, joka on jaettu yrityksen kuljetuksen hyötysuhteella.

Taulukko 8 Vertailusuureen hinta € / km muodostaminen ja vertailusuure

	kilometrit	bruttokilot	kantavuus kg (hyötykuorma)	hyötysuhde kuljetettu/max	hyötysuhde/ km	vertailusuure hinta €/km
yhteensä/ vko	1243 km	56 223 kg				
ma	236 km	7 142 kg	13 000 kg	0,55	129,65	€ 6,27
ti	285 km	11 261 kg	13 000 kg	0,87	246,87	€ 3,91
ke	217 km	12 241 kg	13 000 kg	0,94	204,33	€ 4,42
to	263 km	14 712 kg	23 000 kg	0,64	168,23	€ 6,53*
pe	242 km	10 867 kg	13 000 kg	0,84	202,30	€ 4,73
ka /viikko	248,6 km	11 245 kg	15 000 kg	0,86	215,03	€ 5,17

Kuten tapaustutkimuksen kuvauksessa tuotiin esiin, ei elintarvikeyrityksen tuote mahdollista GNSS tiedon hyödyntämistä muutoin kuin yritykseen palautuvan tavaran kuljetuksen optimoinnissa ja ennakoivassa reitinsuunnittelussa. Kirjoittajat laskivat palautuvien tuotteiden osuuden kokonaiskuljetuksista euroina. Tämä on kuvattu taulukossa 9.

Taulukko 9 Palautusten euromääräinen osuus koko kustannuksista

viikonpäivä	palautukset lkm.	palautusten kustannus €
ma	4	€149,60
ti	6	€ 180,25
ke	6	€ 143,40
to	8	€ 118,00
pe	7	€ 200,95
palautukset yht. €		€ 792,20
palautukset % € kokonaisuudesta		17 %

GNSS paikkatiedon avulla pystytään todentamaan maksuperusteena olevan kilometrikohtainen korvaus, todentaa mahdolliset palvelupoikkeamat, paikantaa varkauden tapahtuessa ajoneuvo ja seuraamaan reaaliaikaista ajoaikaa työsuojelun vaatimusten mukaisesti. Esimerkki järjestelmän tuottamasta paikkatiedosta on esitetty kuvassa 3.

Kuva 3. Esimerkki järjestelmän tuottamasta paikkatiedosta

Tapaus 3, Tutkimuksen kohde oli mallinnettu kuljetuspalvelu, joka toteutetaan autonomisen tavarankuljetuksen keinoin. Tutkittava kohde on sama kuin ensimmäisessä tapauksessa.

Autonomiapaketin asentamisella ajoneuvoon ei ole vaikutusta tutkimuksen kohteena olleen ajoneuvon lavatilavuuteen eikä kuljetettavaan maksimikuormaan. Autonomiapaketti kasvattaa ajoneuvon kokonaispainoa, mutta kuljettajan jäädessä pois, ei kokonaispainon muutoksella ole vaikutusta. Autonomiapaketti lisää ajoneuvon kustannuksia hankintavaiheessa. Huolto ja ylläpito lisäävät myös ajoneuvon käytön kokonaiskustannuksia. Esimerkiksi sensorin vikaantuessa se on vaihdettava ennen seuraavaa tehtävää. Huolto- ja ylläpitokulut muodostuvat siis varaosista ja huoltohenkilöstön kuluista. Hankinta-, huolto- ja ylläpitokustannukset muodostavat tapauksen transaktiokustannukset yhdessä ajoneuvon polttoainekustannuksen kanssa.

Kolmannen tapauksen tulokset hyötysuhdelukujen ja vertailusuureen osalta ovat kuitenkin samat kuin ensimmäisessä tapauksessa, sillä autonomisen järjestelmän kustannusta ei kohdenneta ajetuille kilometreille vaan ajoneuvon hankintakustannuksiin. Lisäksi sotilasorganisaatiossa ajoneuvon kuljettajalla on myös muita tehtäviä ajoneuvon kuljettamisen lisäksi. Näihin tehtäviin sisältyy muun muassa ajoneuvon huoltaminen ja kuorman käsittely. Ajoneuvon operoidessa ilman kuljettajaa siirtyvät nämä tehtävät muiden vastuulle, lisäten kuljetukseen sidottuja resursseja.

Autonomisten järjestelmien yksi kehittämisen tarkoitus on korvata ihmiset tylsissä, likaisissa ja vaarallisissa tehtävissä. Ensimmäisen tapaustutkimuksen harjoituksessa seuratun ajoneuvon muuttaminen miehittämättömäksi ei toisi tässä tutkittavassa tapauksessa merkittävää lisäarvoa. Kuljettajan ajamat kilometrit ja ajotunnit pysyivät harjoituksen aikana maltillisina ja kuljettaja ei joutunut toimimaan väsyneenä tai pitkiä aikoja yhtäjaksoisesti. Tutkittavassa tapauksessa ajoneuvon käyttö ei tehostuisi, vaikka ihminen korvattaisiin koneella. Kuljettajan muut tehtävät siirtyisivät perusyksikön muille sotilaille. Autonomisen kuljetuksen toteuttaminen tarvitsisi ihmisen ohjausta lähtöalueella, mahdollisesti ajoreitillä ja ajon kohdealueella. Ihminen pysyisi siis edelleen osana autonomista viimeisen kilometrin kuljetusta, vaikka ei toimisikaan ajoneuvon kuljettajana.

Johtopäätökset

Kirjoittajien tutkimukselle asettama ensisijainen tavoite oli selvittää, onko mahdollista tehostaa ”tooth-to-tail” suhdelukua hyödyntämällä avaruusdomainin täydennys- ja kuljetuspalveluille tuottamaa tietoa? Kirjoittajien toisena tavoit-

teena oli avata tapaustutkimusten esimerkkien kautta niitä haasteita, joita kuljetus- ja täydennyspalvelut kohtaa ja tutkia avaruusdomainin hyödyntämistä ratkaisuna näihin haasteisiin?

Tutkimuksen tavoitteisiin pyrittiin pääsemään vastaamalla seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Onko Puolustusvoimien mahdollista hyödyntää avaruusdomainin tuottamaa tietoa (osana johtamisjärjestelmää) tavalla, joka tukee kuljetus- ja täydennyspalveluiden tehokkuutta ja vaikuttavuutta ”viimeisen kilometrin” toimituksiin?
2. Miten paikka, aika ja navigaatiojärjestelmiin kohdistunut vihamielinen toiminta on vaikuttanut esimerkkien valossa kuljetusjärjestelmien optimointiin?

Työn teoreettisen viitekehyksen muodosti yleisen systeemiteorian periaatteet ja taloudellista tehokkuutta mitattaessa transaktiokustannusteoria. Yleisen systeemiteorian käyttö on perusteltua tutkittavan toiminnan luonteen takia. Ensimmäisen tapaustutkimuksen muodostaa sotilasorganisaatio, joka toiminnassaan linkittyy toimintaympäristöönsä ollen toimintaympäristönsä vaikutuksen alainen ja vaikuttaen siihen joko aktiivisesti tai passiivisesti. Toisen tapaustutkimuksen kaupallinen toimija on ulkoistanut kuljetustoimintansa ja näin laajentanut itseään koskevan toiminnan myös yhteistyökumppanin/alihankkijan systeemiin. Kolmas tapaustutkimus on rinnastettavissa ensimmäiseen tapaustutkimukseen.

Tutkimuksen epistemologinen lähestymistapa oli abduktiivinen. Lähestymistavassa tutkimusaineiston pohjalta luotua mallia tai toimintatapaa tutkitaan ja analysoidaan eri muuttujien vaikutuksen alla. Lähestymistavan käyttö perustelee kolmen eri tapaustutkimuksen käyttöä eri toimintaympäristöissä ja olosuhteissa.

Tutkimustavoitteeseen pääsemiseksi tutkijat suorittivat kolme tapaustutkimusta vuoden 2024 huhti-maaliskuussa. Tapaustutkimusten tietoa verrattiin laajan ja kriittisen kirjallisuuskatsauksen pohjalta luotuun tutkimuksen viitekehykseen.

Tapaustutkimusten vertailu osoittaa selkeästi eron *miehitetyn* yksityisen ja julkisen kuljetuspalvelun tehokkuudessa. Kuljetuskohteiden lukumäärä, kuljetusten hyötysuhde ja kuljetukseen käytetyt kilometrit / ajoneuvo olivat selkeästi alemmalla tasolla Puolustusvoimien kuljetustoiminnassa. Kustannuksia vertailtaessa Puolustusvoimien arviointiluku on parempi huomattavasti kevyemmän kulurakenteen ansiosta. Kuljetuksiin on sisällytetty kustannuksena vain polttoainekustannukset.

Tulokset pystytään osittain selittämään kuljetuskaluston käyttötarkoitusten erolla. Puolustusvoimien ajoneuvo kuuluu poikkeusolojen materiaalivahvuuteen

ja sen käyttö vastaa tämän hetken suorituskykyvaatimuksia. Ajoneuvo oli tutkimuksen aikana suuren osan käyttämättömänä, eikä käytön optimointi edes ilman satelliittiavusteista paikkatieto-järjestelmää ollut harjoituksen tavoitteena.

Yksityisen elintarvikeyrityksen kuljetuspalvelun optimointi on erittäin kiinteä osa yrityksen liiketoimintaa ja muodostaa liiketoiminnalle kriittisen menestystekijän erittäin kilpaillulla elintarviketeollisuuden toimialalla. Tämän tapaustutkimuksen valossa kuljetuskapasiteetin lukumääräinen nosto ei ole ainoa keino nostaa Puolustusvoimien ”tooth-to-tail” suhdelukua positiivisesti. Aihealueen kokonaisvaltainen, systeeminen lähestymistapa tuo esiin käyttämättömän kuljetuspotentiaalin ja sen hyödyntämisen mahdollisuuden ”tooth-to-tail” suhdeluvun parantamiseksi.

Autonomisen kuljetusjärjestelmän tuomat hyödyt tässä tutkimuksessa esiin tuoduissa tapauksissa ovat hyvin rajallisia. Tuloksista on kuitenkin vedettävissä se johtopäätös, että autonominen kuljetuspalvelu muuttaa tarvittavan ihmistyövoiman paikkaa, poistamatta sitä. Kustannushyödyt autonomisen järjestelmän käytöstä ovat tutkimuksen tulosten perusteella rajallisia.

Osana systeemistä lähestymistapaa tehdyn juridisen tarkastelun kautta käy ilmi, että sekä signaalien taajuuksien salassapito että autonomisten järjestelmien käyttö osana logistiikan toimialaa kytkeytyvät osaksi laajempaa säädöspohjaa. NATO mahdollistaa siviilisignaalien hyödyntämisen yksityisten toimijoiden kanssa yhteistyössä puolustusvoimien kanssa tiettyjen reunaehtojen puitteissa. NATO:n ja sen jäsenmaiden “harmonisoitujen sotilastaajuuksien” tarkoituksena on tarjota yhteinen sotilasfrekvenssiresurssi, joka mahdollistaa järjestelmien toiminnan yhteisillä raja-alueilla, helpottaa yhteisiä harjoituksia ja operaatioita sekä sisältää perustaajuusvarat päivittäiseen koulutukseen, harjoitteluun, taisteluvalmiuteen ja siirtoihin.

Tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan vastata tutkimuskysymykseen 1. Puolustusvoimilla on mahdollisuus operaatioturvallisuuden asettamien vaatimusten rajoissa hyödyntää myös avaruusdomainin tuottamaa GNSS tietoa. Teknologia on kuitenkin tutkimuksen viitekehyksen kuvauksen mukaisesti häiriöaltis. Järjestelmän hyödyntäminen kuljetusten optimointiin ennakkosuunnittelussa osana varautumissuunnittelua on kuitenkin mahdollista. Ennakkoon suunniteltujen nouto, haku, yhteyspisteiden ja kuljetusreittien luominen, kuten kaupallisen toimijan esimerkissä, on mahdollista ja jopa helppoa GNSS teknologiaa hyödyntäen. Näiden tunnistettujen kohteiden ja niihin liittyvän ajantasaisen paikkatiedon hyödyntäminen muutoin kuin aktiivista satelliittipohjaista GNSS-järjestelmää hyödyntäen on kerätyn ennakkotiedon avulla mahdollista.

Tutkimuskysymystä 2, ”Miten paikka, aika ja navigaatiojärjestelmiin kohdistunut vihamielinen toiminta on vaikuttanut esimerkkien valossa kuljetusjärjestelmien optimointiin?” kirjoittajat lähestyivät kansainvälisen yhteistyön kautta.

Ensimmäisenä konkreettisena toimenpiteenä voidaan mainita NATO:n yhteinen ”CIV/MIL” taajuussopimus (NATO Joint Civil/Military Frequency Agreement (NJFA), joka otetaan huomioon NATO-maissa radion taajuussuunnittelun ja politiikan laatimisen perustana. Julkisesti saatavien tietojen valossa ei ole varmuutta siitä, onko sopimusta sovellettu.

Toisena esimerkkinä kirjoittajat tuovat esiin Euroopan posti- ja televiestintäneuvoston jäsenmaiden ja sotilasviranomaisten yhteistyön käyttötarkoitusten ja vaatimusten huomioonottamiseksi kyseisellä taajuusalueella (Electronic Communications Committee 2016, 4). Sääntelykehyksen tavoitteena tulisi olla yhtäältä kansallinen turvallisuuden suojaaminen. Samalla sääntelykehyksen tulisi mahdollistaa modernien kaksoiskäyttötuotteiden teknologian hyödyntäminen Puolustusvoimien operatiivisessa toiminnassa. Tällaisen teknologian keskiössä ovat sotilaskäytössä olevien signaalien taajuusjako ja autonomisten sekä GNSS-avusteisten kuljetusjärjestelmien käyttö sotilaslogistiikan osalta. Oikeudellisen arvion perusteella yksityisen ja julkisen yhteistyön kannalta taajuusjaottelu on jo ilmailutoiminnan osalta käytössä.

Tutkimuksessa käsitelty yksityinen toimija hyödynsi GNSS-teknologiaa oman toimialansa lainsäädännöllisten rajoitteiden vuoksi melko vähän ennakkosuunnittelun ulkopuolella. Yrityksen tuotteiden loppukäyttäjien asettamat asiakasvaatimukset toimivat kuitenkin kirjoittajien mielestä hyvänä esimerkkinä sille, kuinka GNSS-teknologiaa hyödyntäen pystyttäisiin rajoitetulla kuljetuskapasiteetilla tehostamaan kuljetuspalveluiden tehokkuutta viimeisen kilometrin kuljetuksissa. Poikkeusolojen aikaan sidotut kuljetusrajoitteet vastaavat kaupallisen toimijan aikaan sidottuja toimitusaikoja.

Kuljetuspalveluiden viimeisen kilometrin kehitys ei saatujen tulosten perusteella voi perustua kuitenkaan pelkästään teknisen ratkaisun hyödyntämiseen. Tapaustutkimus 1:n aikana tehty osallistuva havainnointi toi esiin selkeän toimintaprosessien kehittämisen tarpeen. Pelkkään tekniseen ratkaisuun, satelliittiteknologiaan perustuvaan GNSS:iin nojautuva kehitys vaatii rinnalleen uuden toimintatavan luomisen, joka ei vaadi toimiakseen haavoittuvaa teknologista ratkaisua.

Keskustelu

Työn johdannossa todetaan, että palveluiden kysynnän kasvu, avaruusdomainiin liittyvien palveluiden tarjonnan kasvu ja tekniikan kehitys on luonut toimintaympäristön, joka on otettava aktiivisesti huomioon puolustuksen suunnittelussa, kehittämisessä ja mahdollisessa suorituskyvyn hyödyntämisessä. Ilman perusteellista tutkimusta ei ole mahdollista käydä keskustelua siitä,

miten kansallista ja kansainvälistä avaruusdomainista riippuvaista logistiikan toimialaa tulee kehittää.

Nyt tehty eksploratiivisen tutkimusotteen työ osoittaa jatkotutkimuksen tarpeen. Tutkittavan joukon kasvattaminen niin eri logistiikan vaiheiden kuin eri logististen ketjujen osalta antaisi elintärkeää lisätietoa GNSS teknologian tarpeellisuudesta, mahdollisuuksista ja uhista kuljetus- ja täydennyspalveluita optimoidessa.

Kerätyn tutkimusaineiston pohjalta toimintaa analysoitiin eri muuttujien vaikutuksen alla eri toimintaympäristöissä. Viimeisen kilometrin kuljetus rajasi ja yhdenmukaisti eri tapaustutkimuksia tutkimusympäristön ja -aiheen asettamista haasteista riippumatta. Olemassa olevien suorituskykyjen analysointi todellista uhkaa kuvaavissa olosuhteissa ei olisi ollut tutkimuseettisesti oikein, eikä mahdollista. Kriittisen suorituskyvyn, kuten kuljetuspalveluiden avaruusdomainista riippuvaisten toimintojen häiriöiden toteuttaminen, todentaminen ja tutkiminen vaarantaisi yhteiskunnan normaaliolojen toimintoja, kuten kirjoittajat toteavat työn tutkimusmenetelmän kuvauksessa.

Työn teoreettisen viitekehyksen muodosti suunnittelutieteiden alla yleinen systeemiteoria ja tapaustutkimusten tuloksia analysoidessa transaktiokustannusteoria. Suunnittelutieteiden ja tapaustutkimusten periaatteiden mukaisesti työn tapaukset kuvattiin lukijalle niin, että tapauksen pystyi käsittelemään omina kokonaisuuksinaan. Silti työstä käy ilmi kuljetuspalveluiden systeeminen luonne Puolustusvoimien sisällä ja siviilitoimijoihin verkostoituessa osana integroitua tukeutumisverkkoa.

Taloudellista tehokkuutta mitattaessa työssä ei huomioitu kuljetuksiin kohdistuvia sekundäärisiä kustannuksia. Kirjoittajat pitävät tätä puutteena ja jatkotutkimuksen kohteena. Kuitenkin on syytä tuoda esiin se, että nyt laskettu taloudellisen tehokkuuden tunnusluku yhdessä kuljetuskapasiteetin tunnuslukujen kanssa luo pohjan aiheen jatkotutkimukselle. Tutkimuksen tulokset lisäävät mahdollisuuksia löytää, käyttää ja hyödyntää suorituskyvyn mittareita sotilaallisen tehokkuuden ja vaikuttavuuden hallinnassa ja määrittelyssä.

Lainsäädännöllisessä tarkastelusta tutkijat haluavat nostaa esiin tarpeen aktiivisesti seurata ja tutkia, miten Euroopan autonomian vahvistaminen avaruuden käytössä ja sen turvallisuuden varmistamisessa etenee. Lisäksi NATOn ja sen jäsenmaiden “harmonisoitujen sotilastaajuuksien” sotilasfrekvenssiresurssit normaali- ja poikkeusolojen toiminnan mahdollistajina ovat kirjoittajien mielestä tärkeä tulevaisuuden tutkimuskohde.

Kaikki edellä kuvatut jatkotutkimusehdotukset ja nyt tehdyn tutkimuksen tuloksena havaitut puutteet voidaan nivoa niin sanotun ”Phase Zero” -suunnittelukonseptin alle. Tämän suunnittelukonseptin lopputuloksena operaatioiden suunnittelijat pystyvät laatimaan toiminnan kannalta ne vaatimukset, joiden

täyttämiseen tarvitaan sopimuspohjaista, puolustusvoimien ulkopuolista suorituskykyä. Tämä vaatimusmäärittely tehdään ennen operaation suunnittelun aloittamista. Tämä on erityisen relevanttia arvioitaessa teknologian kehityksen vaikutuksia ja sen mahdollistamaa kustannus-hyöty suhdetta autonomisten järjestelmien osalta. Nyt tehty tapaustutkimus simuloidussa ympäristössä korostaa rajahyödyn tunnistamisen tärkeyttä.

Kirjoittajat haluavat tuoda esiin tulevaisuuden tutkimusaiheena tapauksen, jossa simuloidaan usean ajoneuvon käyttöä kuljetuspalveluissa. Usean ajoneuvon kuljettajien korvaaminen GNSS ja inertia avusteisella paikkatieto- ja navigointijärjestelmää hyödyntävällä autonomisella järjestelmällä, lastaus- ja purkuhenkilöstön tehokkaampi hyödyntäminen yhdistettynä kokonaisuuden ennakoivaan suunnitteluun tuo potentiaalisesti kustannushyötyä nyt kuvatun kaltaisissa olosuhteissa. Rajahyötyteoria auttaa määrittämään optimaalisen resurssien käytön pisteen, jossa autonomisen kuljetuskapasiteetin tuoma optimaalinen hyöty saavutetaan. Autonomisen kuljetuskyvyn vaatiman teknologian kehitysaste ei kuitenkaan mahdollista tällaista tutkimusasetelmaa muutoin kuin simulaationa sotilaallisessa kontekstissa.

Lähteet

Acero, Raquel, Marta Torralba, Roberto Perez-Moya & José Antonio Pozo (2019). Value stream analysis in military logistics: The improvement in order processing procedure, *Applied Sciences*, 10(1), 106.

Anttila, Pirkko. (2007). *Realistinen evaluaatio ja tuloksellinen kehittämistyö*. Hamina: Akatiimi.

Ballast, Jan (2017). *Trust (in) NATO: The future of intelligence sharing within the Alliance*. Research Paper. Research Division – NATO Defense College, Rome, 140, https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep10248.pdf, (16.1.2024).

Bates, Oliver, Adrian Friday, Julian Allen, Tom Cherrett, Fraser McLeod, Tolga Bektas, ThuBa Nguyen, Maja Piecyk, Marzena Piotrowska, Sarah wise & Nigel Davies (2018). Transforming Last-mile Logistics: Opportunities for more Sustainable Deliveries. Teoksessa Oliver Bates (toim.), *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '18: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Montreal QC Canada: ACM, 1–14. https://doi.org/10.1145/3173574.3174100

Bertalanffy, Ludwig von (1968). *General system theory: Foundations, development, applications*. G. Braziller. https://repository.vnu.edu.vn/handle/VNU_123/90608, (8.1.2024).

Bitner, M.J. & Helen Si Wang (2014). 11. Service encounters in service marketing research. Teoksessa R. T. Rust & M.-H. Huang (toim.), *Handbook of service marketing research*, Cheltenham & Northampton: Edward Elgar Publishing, 221–243.

BMWK (2023). Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK). The German Federal Government's Space Strategy. Berlin: Public Relations, BMWK.

Boehmke, Bradley C., Alan W. Johnson, Edward D. White, Jeffery D. Weir & Mark A. Gallagher (2016). The influence of operational resources and activities on indirect personnel costs: A multilevel modeling approach. *The Engineering Economist*, 61(4), 289–312. https://doi.org/10.1080/0013791X.2016.1155247

Busch, Nathan E. & Austen D. Givens (2013). Achieving resilience in disaster management: The role of public-private partnerships. *Journal of strategic security*, 6(2), 1–19.

Cellerino, Chiara (2023). EU Space Policy and Strategic Autonomy: Tackling Legal Complexities in the Enhancement of the 'Security and Defence Dimension of the Union in Space'. *European Papers*, 8(2), 487–501, 491.

Coalition Autonomous Systems - The Future of Military Logistics (2019). GOV.UK. https://www.gov.uk/government/news/coalition-autonomous-systems-the-future-of-military-logistics, (21.3.2024).

Coffed, Jeff (2014). The threat of GPS jamming: The risk to an information utility. *Report of EXELIS*, 6–10.

Coker, Christopher (2015). *Future war*. Cambridge: Polity.

Coman, Marian & Badea, Dorel (2019). The Critical Space Infrastructure and its Importance to Military Operations. *International conference KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATION*, 25(1), 47–52. https://doi.org/10.2478/kbo-2019-0007

COPUOS (2022). United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (2022). General presentation of French activities and views concerning the long-term sustainability of outer space activities, in relation with the implementation of the 21 Guidelines, A/74/20, Annex II. Scientific and Technical Subcommittee Fifty-ninth session, Vienna, 7-18 February 2022, A/AC.105/C.1/L.392, V.22-00538 (E), 3, 17, 26.

Dasu, Sriram & Richard B. Chase (2010). Designing the soft side of customer service. *MIT Sloan Management Review*, 52(1), 33-39.

David, Robert J. & Shin-Kap Han (2004). A Systematic Assessment of the Empirical Support for Transaction Cost Economics. *Strategic Management Journal*, 25(1), 39–58. http://www.jstor.org/stable/20142099, 41.

DC, D.O.D.W. (2012). Joint Operational Access Concept (JOAC). Department of Defense Washington DC. https://apps.dtic.mil/sti/citations/tr/ADA555385, (16.1.2024).

Department of Defence, A. (2013). Defence White Paper 2013.

DoD Directive 3000.09 - Autonomy in Weapon Systems (2023). U.S. Department of Defence. https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3278076/dod-announces-update-to-dod-directive-300009-autonomy-in-weapon-systems/, (21.3.2024).

Dygnatowski, Sławomir (2021). Space Systems as the Weakest Link, *Advances in Military Technology*, 16(1), 133–147. https://doi.org/10.3849/aimt.01409

EDIDP: The iMUGS Consortium demonstrates autonomous missions with robotic systems (2022). European Commission. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/edidp-imugs-consortium-demonstrates-autonomous-missions-robotic-systems-2022-12-19_en, (20.3.2024).

Electronic Communications Committee (2016). Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT). (2015). THE EUROPEAN TABLE OF FREQUENCY ALLOCATIONS AND APPLICATIONS IN THE FREQUENCY RANGE 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA TABLE). ERC REPORT 25.

Euroopan komissio (2021). EU SST Cooperation – EU Space Surveillance and Tracking Service Portfolio (2nd ed.), 4.

Euroopan komissio ja Euroopan ulkosuhdehallinto (2023). Turvallisuutta ja puolustusta tukeva Euroopan unionin avaruusstrategia. Yhteinen tiedonanto Euroopan parlamentille ja neuvostolle, JOIN(2023)9, 10.3.2023, 19.

Euroopan unionin neuvosto (2023). Yhteinen tiedonanto Euroopan parlamentille ja neuvostolle: Turvallisuutta ja puolustusta tukeva Euroopan unionin avaruusstrategia, JOIN(2023) 9 final, 10.3.2023, 4.

Gansler, Jacques S. & William Lucyshyn (2014). *Improving the DoD's Tooth-to-Tail Ratio*. Acquisition Research Program. https://www.dair.nps.edu/handle/123456789/2609, (11.12.2023).

Gevaers, Roel, Eddy Van de Voorde & Thierry Vanelslander (2009). Characteristics of innovations in last-mile logistics-using best practices, case studies and making the link with green and sustainable logistics. *Association for European Transport and contributors*, 1, 21.

Grant, Alan, Paul Williams, Nick Ward & Sally Basker (2009). GPS jamming and the impact on maritime navigation. *The Journal of Navigation*, 62(2), 173–187.

Hukkanen, Ville (2017). *Joukkojen ja järjestelmien elinjaksojen hallintaprosessi Puolustusvoimissa*. Maanpuolustuskorkeakoulu.

Jacobson, Carol & Sang Ok Choi (2008). Success factors: public works and public-private partnerships, *International journal of public sector management*, 21(6), 637–657.

Károly, Krisztián & András Németh (2019). The Possibilities of Supporting the Public Functions with Fleet and Force Tracking Systems1. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 18(3), 55–67. https://doi.org/10.32565/aarms.2019.3.4.

Keating, Barry & Maryann Keating (2013). Private firms, public entities, and microeconomic incentives: Public private partnerships (PPPs) in Australia and the USA. *International Journal of Organizational Analysis*, 21(2), 176–197.

Kirschbaum, Joseph W., Tommy Baril, Jennifer Spence, Haley Dunn, Matthew Jacobs & Gabrielle Matutzan (2020). Electromagnetic Spectrum Operations: DOD Needs to Address Governance and Oversight Issues to Help Ensure Superiority. https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1146306, (5.1.2024).

Kosola, Jyri & Janne Jokinen (2004). Elektroninen sodankäynti osa 1 – taistelun viides dimensio. Julkaisusarja 5, Tekniikan laitos, No 2. Helsinki: Edita Prima Oy, ISBN 951-25-1554-7.

Lethal Autonomous Weapon Systems (LAWS) (n.d.). United Nations, Office for Disarmament Affairs. https://disarmament.unoda.org/the-convention-on-certain-conventional-weapons/background-on-laws-in-the-ccw/, (11.2.2024)

Liu, Shaoshan, Liyun Li, Jie Tang, Shuang Wu, Jean-Luc Gaudiot (2020). Autonomous Vehicle Localization. Teoksessa Shaoshan Liu, Liyun Li, Jie Tang, Shuang Wu & Jean-Luc Gaudiot (toim.), *Creating Autonomous Vehicle Systems*. Cham: Springer International Publishing, 15–49. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01805-3_2

Logistiikan maailma (n.d.). Citylogistiikka. https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikka-ja-toimitusketju/citylogistiikka/, (9.1.2024).

Macneil, Ian R. (1985). Reflections on Relational Contract. *Zeitschrift Für Die Gesamte Staatswissenschaft / Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 141(4), 541–546.

Maurin, Anne (2023). The War in Ukraine and Space Theatre. Kääntänyt M. Storey. *Revue Defense Nationale*, (HS11), 30–36.

Ministry of Defence of Germany (2017). "BMVg legt 'Strategische Leitlinie Weltraum' fest" 07.03.2017. https://www.bmvg.de/de/aktuelles/bmvg-legt-strategische-leitlinie-weltraum-fest-11148

Mitch, Ryan H., Ryan C. Dougherty, Mark L. Psiaki, Steven P. Powell, Brady W. O'Hanlon, Jahshan A. Bhatti & Todd E. Humphreys (2011). Signal characteristics of civil GPS jammers. Teoksessa *Proceedings of the 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2011)*, 1907–1919. https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=9740, (16.1.2024).

NATO Logistics Handbook: Chapter 1: Definitions (1997). https://www.nato.int/docu/logi-en/1997/lo-103.htm, (18.12.2023).

Niskanen, William A. (2017). *Bureaucracy and representative government*. Routledge. https://books.google.fi/books/about/Bureaucracy_and_Representative_Governmen.html?id=dOYe1ld9F1QC&redir_esc=y, (2.1.2024).

NJFA (2014). NATO Joint Civil/Military Frequency Agreement. Extract for Public Disclosure, ENCLOSURE 1 AC/322(CP/3)D(2016)0005-COR3.

Olsson, John, Daniel Hellström & Henrik Pålsson (2019). Framework of last mile logistics research: A systematic review of the literature. *Sustainability*, 11(24), 7131.

Palokangas, Marko (2022). *Sodan usvaa: sodankäynti muutoksessa*. Maanpuolustuskorkeakoulu.

Pasivirta, Pasi & Jyri Kosola (2007). *Vaatimustenhallinnan soveltaminen puolustusvoimissa*. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos.

Rheinmetall (n.d.). *Path autonomy kit*. https://www.rheinmetall.com/en/products/unmanned-vehicles/unmanned-vehicles/path-autonomy-kit#anchor-further-information, (21.3.2024).

Pattison, James (2008). Just war theory and the privatization of military force. *Ethics & International Affairs*, 22(2), 143–162.

Peirce, Charles Sanders (2020). *A neglected argument for the reality of God*. Good Press. https://books.google.fi/books/about/A_Neglected_Argument_for_the_Reality_of.html?id=UFsOEAAAQBAJ&redir_esc=y, (27.12.2023).

Pinker, Aron & Charles Smith (1999). Vulnerability of the GPS Signal to Jamming. *GPS Solutions*, 3(2), 19–27. https://doi.org/10.1007/PL00012788

Pırtı, Atınç & Mehmet Ali Yücel (2022a). The impact of Russian on GPS signal jamming in the Scandinavian Region. https://www.researchsquare.com/article/rs-1856904/latest, (30.12.2023).

Pırtı, Atınç & Mehmet Ali Yücel (2022b). The impact of Russian on GPS signal jamming in the Scandinavian Region. https://www.researchsquare.com/article/rs-1856904/latest, (15.1.2024).

Pridmore, Jason & D. Zwick (2013). The rise of the customer database: From commercial surveillance to customer production. *The Routledge companion to digital consumption*, 102–112.

Puolustusministeriö *(2013). Puolustushallinnon kumppanuus,* https://www.defmin.fi/julkaisut_ja_asiakirjat/strategia-asiakirjat/puolustusministerion_strateginen_suunnitelma_2030/puolustushallinnon_kumppanuus, (8.1.2024).

Research advances autonomous off-road navigation (2021). U.S. Army. https://www.army.mil/article/242895/research_advances_autonomous_off_road_navigation

Rezaei, Mohammad Javad, Abedi, Mohsen & Mohammad Reza Mosavi (2016). New GPS anti-jamming system based on multiple short-time Fourier transform. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 10(4), 807–815. https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2015.0417.

Robotic & Autonomous Systems Strategy v2.0 (2022). Army Headquarters: Autonomous Systems Implementation Coordination Office, Future Land Warfare Branch.

Rothbauer, Paulette M. (2008). Triangulation. Teoksessa Lisa M. Given The SAGE encyclopedia of qualitative research methods. Thousand Oaks, USA: SAGE Publications, 893–894.

Sadka, Efraim (2007). Public-private partnerships—a public economics perspective. *CESifo economic studies*, 53(3), 466–490.

Scharre, Paul D. (2015). The Opportunity and Challenge of Autonomous Systems. Teoksessa Andrew P. Williams & Paul D. Scharre (toim.), *Autonomous Systems; Issues for Defence Policymakers*. Norfolk: Headquarters Supreme Allied Commander Transformation, 3–26.

Schulte, Joseph, Mark Kocherovsky, Nicholas Paul, Mitchell Pleune & Chan-Jin Chung (2022). Autonomous Human-Vehicle Leader-Follower Control Using Deep-Learning-Driven Gesture Recognition. *Vehicles*, 4(1), 243–258. https://doi.org/10.3390/vehicles4010016.

Schwartz, Paul, Anya Fink, Julian Waller, Michael Kofman (2023). U) Russian Military Logistics in the Ukraine War: Recent Reforms and Wartime Operations. https://policycommons.net/artifacts/6944789/u-russian-military-logistics-in-the-ukraine-war/7854714/, (2.1.2024).

Science and France, T.O.N.A.T.O.N.-S.C. (2019). *Public Private Partnership in a NATO Context (Partenariat public-prive dans le contexte de l'OTAN)*. https://apps.dtic.mil/sti/citations/tr/AD1078555, (2.1.2024).

Simon, Herbert A. (1951). A formal theory of the employment relationship. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 293–305.

Springer, Paul J. (2018). *Outsourcing war to machines: the military robotics revolution*. Santa Barbara, California: Praeger (Praeger security international).

Stavridis, James & Evelyn N. Farkas (2012). The 21st Century Force Multiplier: Public–Private Collaboration. *The Washington Quarterly*, 35(2), 7–20. https://doi.org/10.1080/0163660X.2012.665336.

Tarvainen, Tiina (2012). Muuttuva turvallisuusympäristö ja puolustuskyky – vertailua läntisten strategiadokumenttien kautta. Teoksessa Tiina Tarvainen (toim.), *Näkökulmia uskottavaan puolustuskykyyn*, 33–57.

The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy (2017). U.S. Army Training and Doctrine Command: Maneuver, Aviation and Soldier Division, Army Capabilities Integration Centre.

Vatanen, Ville (2022). *Kyberoperaatioiden käyttö avaruudellista infrastruktuuria vastaan sotilaallisen voiman heikentämiseksi*. https://www.doria.fi/handle/10024/185637, (10.1.2024).

Valtioneuvosto (2023). Kansallisen avaruustilannekeskuksen perustaminen: Hanketta selvittäneen ohjausryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja, 2023:6. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö, 39.

Vogel, Dominic (2020). German Armed Forces Approaching Outer Space: The Air and Space Operations Centre As a Gateway to Multi-domain Operations. Introduction, (No. 49).

Warren, Aiden & Alek Hillas (2020). Friend or frenemy? The role of trust in human-machine teaming and lethal autonomous weapons systems. *Small Wars & Insurgencies*, 31(4), 822–850.

Westbrook, Tegg (2019). The global positioning system and military jamming. *Journal of Strategic Security*, 12(2), 1–16.

Williams, Andrew (2015). Defining Autonomy in Systems - Challenges and Solutions. Teoksessa Andrew P. Williams & Paul D. Scharre (toim.), *Autonomous Systems; Issues for Defence Policymakers*. Norfolk: Headquarters Supreme Allied Commander Transformation, 33.

Williamson, Oliver E. (1979). Transaction-Cost Economics: The Governance of Contractual Relations. *The Journal of Law & Economics*, 22(2), 233–261. http://www.jstor.org/stable/725118, 234.

Williamson, Oliver E. (1999). Public and Private Bureaucracies: A Transaction Cost Economics Perspective. *Journal of Law, Economics,* & *Organization*, 15(1), 306–342.

Yin, Robert K. (1981). The case study as a serious research strategy, *Knowledge*, 3(1), 97–114.