

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**HYBRIDITEKNOLOGIAN HYÖDYT JA HAASTEET PANSSA-
ROIDUISSA AJONEUVOISSA**

Pro gradu -tutkielma

Yliluutnantti
Visa Laitinen

Sotatieteiden maisterikurssi 8
Maasotalinja

Huhtikuu 2019

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 8	Linja Maasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Visa Laitinen	
Opinnäytetyön nimi Hybriditeknologian hyödyt ja haasteet panssaroiduissa ajoneuvoissa	
Oppiaine, johon liittyy Sotateknikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun kirjasto
Aika Huhtikuu 2019	Tekstisivuja 75 Liitesivuja 15
TIIVISTELMÄ <p>Hybridijärjestelmiä on käytetty ajoneuvoissa lähes auton keksimisestä lähtien. Niiden hyödyntäminen kuitenkin loppui vuosikymmeniksi, kun pelkän polttomoottorin käyttö vakiintui ajoneuvojen voimanlähteeksi. Hybridijärjestelmien hyödyntäminen on nykyisin lisääntymässä paitsi autoissa myös esimerkiksi työkoneissa tiukentuvien päästörajoitusten takia. Nämä aiheuttavat vaikutuksia myös sotilasajoneuvojen päästöjen hallinnassa. Lisäksi perinteisten, polttomoottoria hyödyntävien ajoneuvojen polttoainehuolto aiheuttaa suuren logistisen haasteen ajoneuvoja käyttäville joukoille. Hybriditeknologioiden hyödyntämisellä on mahdollista vastata näihin haasteisiin sekä mahdollistaa muun muassa sähköisten ase- ja suojajärjestelmien hyödyntäminen ajoneuvoissa.</p> <p>Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää panssaroitujen ajoneuvojen käyttäjien näkemyksiä hybriditeknologioiden tarjoamiin hyötyihin ja haasteisiin panssaroiduissa pyöräajoneuvoissa. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuusselvitystä ja kyselytutkimusta. Kirjallisuusselvityksellä muodostettiin tutkielman teoreettinen pohja, jonka perusteella laadittiin kysymykset kyselyä varten. Kysymykset laadittiin soveltaen puolustusvoimien suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessiin liittyviä kokonaisuuksia, kuten vaatimustenhallintaa ja sotilaallisen suorituskyvyn käsitettä.</p> <p>Aikaisemman tutkimuksen perusteella hybridijärjestelmien käytön tarjoamia hyötyjä ovat etenkin ajoneuvon liikkuvuutta parantavat ominaisuudet, kuten pienentynyt polttoaineen kulutus, parantunut kiihtyvyys ja kyky hiljaiseen ajoon (silent movement). Lisäksi ajoneuvon alustarakenteita on mahdollista yksinkertaistaa ja pienentää ajoneuvon ulkomittoja. Lisääntynyt sähköenergia ajoneuvossa mahdollistaa myös nykyistä tehokkaampien sähköisten ase- ja suojajärjestelmien käytön ajoneuvossa. Hybridijärjestelmien käyttö aiheuttaa kuitenkin myös haasteita ajoneuvon käytön kannalta. Näitä ovat muun muassa akkujen lisääntyvä määrä ajoneuvossa, mikä pienentää ajoneuvon kantavuutta sekä mahdollinen jousittamattoman massan lisääntyminen, mikä lisää ajoneuvon korin epävakautta etenkin maastoajossa.</p> <p>Kyselyn tulosten perusteella hybridijärjestelmien käytön tarjoamista hyödyistä tärkeimpinä pidettiin toimintasäteen paranemista ja polttoainehuollon vähenemistä. Lisäksi tärkeinä pidettiin taistelukeston liittyvää kykyä siirtää ajoneuvoa vaurioituneena sekä nykyisiä ajoneuvoja pidempää kykyä käyttää ajoneuvon järjestelmiä pelkällä akustolla (silent watch). Hybridijärjestelmien käytön aiheuttamista haasteista kriittisimpinä vastaajat pitivät mahdollista kantavuuden ja kuljetuskapasiteetin pienenemistä, akkujen sekä sähköjärjestelmien määrän lisääntymistä ajoneuvossa. Kriittisinä pidettyjen haasteiden merkitystä on mahdollista vähentää tarkalla vaatimustenmäärittelyllä, jolloin esimerkiksi ajoneuvon akustoa ei mitoiteta liian suureksi. Hyötyjen ja haasteiden painotukset voivat kuitenkin muuttua ajoneuvon roolin mukaan.</p>	
AVAINSANAT Panssaroitu pyöräajoneuvo, hybriditeknologia, kyselytutkimus, integroiva kirjallisuusselvitys, sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä	

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto.....	1
1.1. Tutkimuksen taustat ja rajaukset	3
1.2. Tutkimuksen tarve ja aikaisemmat tutkimukset.....	5
1.3. Tutkimuskysymykset.....	6
1.4. Tutkimusmenetelmät	7
1.5. Kirjallisuusselvityksen aineisto ja lähdekritiikki	8
2 Suorituskyvyn rakentaminen ja ylläpito sekä sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä	11
2.1. Suorituskyvyn rakentaminen ja ylläpito.....	11
2.2. Vaatimustenhallinta suorituskyvyn rakentamisessa ja ylläpidossa.....	12
2.3. Sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä.....	13
2.3.1. Vaikuttavuusnäkökulma.....	14
2.3.2. Kyvykkyyssnäkökulma.....	15
2.3.3. Ratkaisunäkökulma	16
2.3.4. Elinjaksonäkökulma	17
2.4. Yhteenvedo.....	17
3 Hybriditeknologioiden mahdolliset hyödyt ja haasteet panssaroiduissa ajoneuvoissa	18
3.1. Hybriditeknologiat.....	18
3.1.1. Sarjahybridi	18
3.1.2. Rinnakkaishybridi	19
3.1.3. Sarja-rinnakkais- ja jaetun tehon hybridi	20
3.2. Toimintaympäristö	22
3.3. Saavutettavat hyödyt	22
3.3.1. Liikkuvuus.....	23
3.3.2. Johtaminen, tulivoima ja taistelunkesto	24
3.3.3. Logistiikka.....	25
3.4. Tekniset haasteet	26
3.4.1. Sähkökomponentit.....	26
3.4.2. Energian varastointi ajoneuvossa.....	27
3.4.3. Sähkömoottorit	28
3.5. Ajoneuvon käytölle muodostuvat haasteet.....	28
3.5.1. Liikkuvuus.....	29
3.5.2. Johtaminen, tulivoima ja taistelunkesto	29
3.5.3. Logistiikka.....	30

4	Tutkimusaineisto ja tutkimustulokset	31
4.1.	Kyselyaineiston kerääminen.....	31
4.2.	Analyysimenetelmä	37
4.3.	Tutkimusaineisto	39
4.3.1.	Hybriditeknologioiden hyödyt	39
4.3.2.	Hybriditeknologioiden mahdolliset haasteet.....	56
4.3.3.	Kyvykkyyksien kriittisyys	63
4.3.4.	Taktisen suorituskyvyn osa-alueiden tärkeysjärjestys	64
4.3.5.	Kyselyn sisäinen konsistenssi	65
5	Johtopäätökset	67
5.1.	Tutkimuksen luotettavuus	73
5.2.	Jatkotutkimuksen tarve.....	75

LÄHTEET

LIITTEET

HYBRIDITEKNOLOGIAN HYÖDYT JA HAASTEET PANSSAROIDUISSA AJONEUVOISSA

1 JOHDANTO

Sähkön käyttö ajoneuvojen voimalähteenä yleistyy nykyisin nopeasti. Pelkästään sähköllä toimivia ajoneuvoja on kuitenkin käytetty jo 1800-luvulla. Lisäksi poltto- ja sähkömoottoria yhdessä hyödyntäviä hybridiajoneuvoja on kehitetty 1800- ja 1900-lukujen vaihteesta alkaen. Esimerkiksi vuoden 1899 Paris Salon -näyttelyssä esiteltiin sekä sarja- että rinnakkaishybridijärjestelmiä hyödyntävät autot [1, s. 15; 2, s. 5]. 1900-luvun alussa valmistettiin useita hybridiajoneuvoja, kuten poltto- ja sähkömoottoreita hyödyntävä Lohner-Porsche sekä Krieger-yhtiön hybridiauto [3, s. 8–9; 4, s. 63–70]. Hybriditeknologian hyödyntäminen siviilisovelluksissa loppui käytännössä vuosikymmeniksi 1920-luvulle tultaessa, kun hybridijärjestelmät eivät pystyneet kilpailemaan polttomoottorin kehityksen kanssa [1, s. 16]. 1970-luvulla muun muassa energiakriisi ja huoli ilmastonmuutoksesta lisäsivät jälleen kiinnostusta sähkö- ja hybriditeknologiaa kohtaan ajoneuvoissa. Hybridijärjestelmien käyttö alkoi kunnolla kuitenkin vasta 1990-luvulla, kun Toyota Prius tuotiin markkinoille [5, s. 9].

Nykyisin suurimmalla osalla autonvalmistajista on markkinoilla hybridimalli tai sellainen julkaistaan lähitulevaisuudessa [6, s. 370]. Henkilöautojen lisäksi hybridijärjestelmiä hyödynnetään teollisuudessa muun muassa pyöräkuormaajissa, kaivinkoneissa ja metsätyökoneissa [7, s. 9–18]. Hybridijärjestelmien hyödyntäminen on lisääntynyt teollisuuden raskaissa ajoneuvoissa [5, s. 10]. Tästä huolimatta hybridijärjestelmien käyttö ei ole vielä yleistynyt sotilassovelluksissa, vaikka Yhdysvaltojen maavoimat on vuodesta 1943 asti harkinnut sähköisen ja hybridivoimansiirron hyödyntämistä sotilaskäytössä [8]. Myös Tiger-taistelupanssarivaunun prototyypeistä Ferdinand Porschen suunnittelema VK4501(P) hyödynsi hybridivoimansiirtoa, jossa kaksi polttomoottoria käyttivät generaattoreita, joilla tuotettiin sähkövoima panssarivaunua liikuttaville sähkömoottoreille [3, s. 170–171; 9, s. 28–29; 10, s. 6].

Useiden maiden armeijoilla on edelleen kiinnostusta hybridijärjestelmien hyödyntämiseksi sotilasajoneuvoissa, ja esimerkiksi Yhdysvaltain armeija on testannut sekä hybridijärjestelmällä varustettua High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle -ajoneuvoa (HMMWV) että Reconnaissance, Surveillance, Targeting Vehicle -ajoneuvoa (RST-V) [11, s. 2; 12]. Niiden käyttöönotto on kuitenkin lykkääntynyt korkeiden kustannuksien vuoksi [12]. Tästä huolimatta hybriditeknologian kehittäminen sotilassovelluksissa hyödynnettäväksi jatkuu. Esimerkiksi vuonna 2018 Yhdysvaltain merivoimien tutkimusorganisaatio solmi sopimuksen QinetiQ-yhtiön kanssa sähköisessä voimansiirrossa käytettävien napamoottorien kehittämisestä merivoimien Armored Reconnaissance Vehicle (ARV) -ohjelmaan [13].

Hybriditeknologioiden hyödyntämisen keskeisenä tavoitteena on uusien ajoneuvojärjestelmien luominen sotilassovelluksissa. Näiden järjestelmien käytöllä pyritään mahdollistamaan teknologia- ja suorituskykyharppaus konventionaaliseen ajoneuvotekniikkaan verrattuna. Täys- ja hybridiajoneuvojen tekniikan käyttämisellä on tavoitteena muun muassa mahdollistaa sähköisten ase- ja suojajärjestelmien käyttö, ajoneuvon äänetön toiminta, polttoainetalouden ja ajoneuvon suorituskyvyn parantaminen. [5, s. 10; 14, s. 217] Tämän lisäksi lisääntynyt sähkön määrä ajoneuvossa mahdollistaa ajoneuvon tukeutuvien sotilaiden akkukäyttöisten järjestelmien lataamisen ja sähkön syöttämisen esimerkiksi kenttäverkkoon [11, s. 3]. Sarjahybridirakenteen käytöllä voidaan myös vähentää tilaa vevän, mekaanisen voimansiirron käyttöä ajoneuvossa, minkä ansiosta tila ajoneuvon sisällä voi lisääntyä, ajoneuvon modulaarisuus voi parantua sekä esimerkiksi logistinen tarve pienentyä [5, s. 10].

Edellä mainitun lisäksi tiukentuvat päästövaatimukset velvoittavat myös puolustusteollisuutta alentamaan ajoneuvojen aiheuttamia päästöjä. Näitä vaatimuksia on vaikea täyttää pelkällä moottorin optimoinnilla. Lisäksi pakokaasun puhdistusjärjestelmien käytöllä on tiettyjä ongelmia, kuten polttoainetalouden heikentyminen. [15, s. 6-3] Tästä syystä hybriditeknologian käyttö voi lisääntyä, koska sen avulla on muun muassa mahdollista vastata edellä mainittuihin tiukentuviin päästövaatimuksiin [15, s. 1-2].

Sotilaallisen toimintaympäristön asettamat haasteet on kuitenkin huomioitava hybridijärjestelmien hyödyntämisessä. Etenkin hybridien hyötyjen arviointi sotilasajoneuvoissa on haastavaa, koska niiden toimintaympäristö eroaa merkittävästi siviiliajoneuvoista [11, s. xix; 15]. Sotilasajoneuvon vaatimukset esimerkiksi 60 %:n nousukyvyistä ja pehmeän maan liikkumiskyvystä voivat heikentää hybridien käytön hyötyjä [11, s. 6].

Toimintaympäristön ohella hybriditeknologian käytettävyys sotilasajoneuvoissa riippuu ajoneuvon tyypistä, kuten roolista (esimerkiksi miehistönkuljetus-, taistelu- tai evakuointiajoneuvo), painosta, alustaratkaisusta (pyörä- vai tela-ajoneuvo) ja valitusta hybridijärjestelmän rakenteesta [5, s. 78–79]. Myöskään hybridijärjestelmien luotettavuudesta ja huollettavuudesta ei ole vielä ollut riittävästi tietoa ajoneuvon elinkaaren ajalta [5, s. 15; 6, s. 372]. Tästä huolimatta esimerkiksi edellä mainittujen teollisuuden hybridiajoneuvojen kehitys luonee pohjaa hybridien käytölle myös sotilassovelluksissa [6, s. 372]. Lisäksi esimerkiksi sähköisiä voima-siirtoratkaisuja kehittävän QinetiQ-yrityksen mukaan kaikilla suurimmilla taisteluajoneuvojen valmistajilla on suunnitelmissa kehittää sähkövoimaa hyödyntäviä seuraavan sukupolven taisteluajoneuvoja [13].

1.1. Tutkimuksen taustat ja rajaukset

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan panssaroitujen ajoneuvojen käyttäjien näkemyksiä hybriditeknologioiden hyötyihin ja haasteisiin ajoneuvossa. Tutkimuksen tavoitteena on luoda näkemys käyttäjien kannalta tärkeimmistä hyödyistä ja kriittisimmistä haasteista. Lisäksi tavoitteena on selvittää, mitkä hybriditeknologioiden tarjoamat kyvykkyydet ovat tarpeellisia ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta.

Työn kannalta keskeisimpiä käsitteitä on panssaroitu pyöräajoneuvo. Puolustusministeriön asetus sotilasajoneuvoista määrittelee panssariajoneuvon olevan ajoneuvo, jonka kuljettamiseen vaaditaan aina ajaja ja johtaja, ja joka on moottorikäyttöinen ja erityisellä panssarikorilla varustettu, aseistuksella tai muulla sotilaskäyttöön tarkoitettulla välineistöllä varustettu tai sotilaskuljetukseen tarkoitettu [16]. Nykyaikaisia panssaroituja pyöräajoneuvoja ovat muun muassa Patria Armoured Modular Vehicle -tuoteperheen (AMV) ajoneuvot, ARTEC Boxer ja Mowag Piranha-tuoteperheen ajoneuvot [17; 18; 19]. Edellä mainitut ajoneuvot ovat pyöräalustaisia, pääsääntöisesti kahdeksanakselisiä ajoneuvoja, joista voidaan tehdä erilaisiin rooleihin soveltuvia versioita [17; 18; 19]. Nämä panssaroidut ajoneuvot ovat hyvin modulaarisia, mikä mahdollistaa saman ajoneuvon perusrakenteen hyödyntämisen esimerkiksi kuljetus- ja taisteluajoneuvossa.

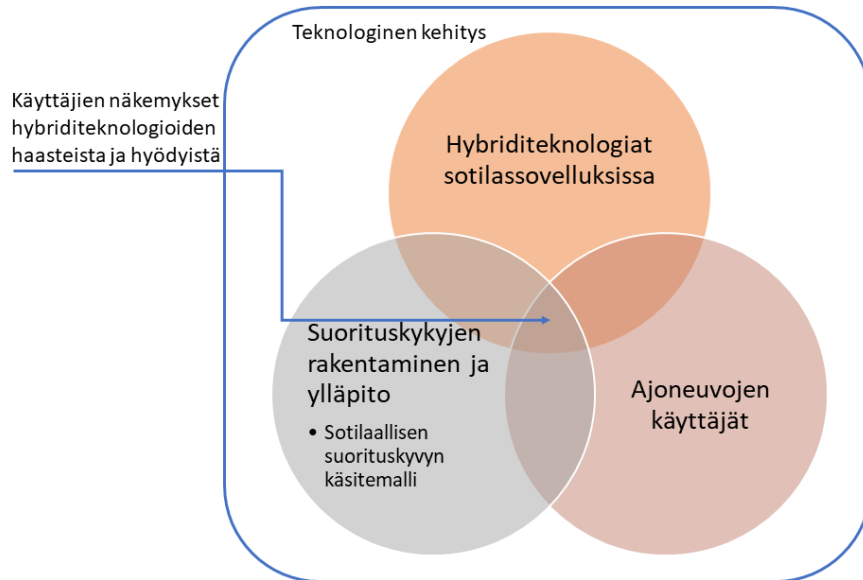
Työn aihe on Patria Land Systems Oy:n tilaama, mikä osaltaan vaikuttaa työn rajauksiin ja tavoitteisiin. Hybriditeknologioiden tarkastelu rajataan käsittelemään niiden teknistä toteutusta. Niiden tarkempi tarkastelu rajataan tutkimuksen ulkopuolelle, koska tutkimuksen tavoitteena on tarkastella ajoneuvon käyttäjien näkemyksiä hybridijärjestelmien käytön hyötyihin ja haasteisiin. Hybridijärjestelmien teknisen toteutuksen tavoitteena on kuitenkin antaa lukijalle käsitys niiden rakenteesta.

Ajoneuvon osalta tarkastelu rajataan panssaroituun, pyöräalustaiseen taisteluajoneuvoon. Tällöin hybridijärjestelmien tarjoamat mahdollisuudet asejärjestelmien suhteen voidaan huomioida aiheen käsittelyssä. Ajoneuvon roolin osalta rajaukseen päädyttiin myös siksi, että nykyaikaisista panssaroituista ajoneuvoista on saatavilla moniin eri käyttötarkoituksiin soveltuvia versioita, kuten edellä mainittiin. Hybriditeknologioiden käytön hyötyjen ja haasteiden tarkastelu erilaisten ajoneuvoversioiden näkökulmista ei ole tämän tutkielman laajuus huomioiden mahdollista.

Toimintaympäristön osalta tarkastellaan tyypillistä suomalaista toimintaympäristöä, jota on käsitelty lyhyesti kolmannen luvun alaluvussa 3.2. Toimintaympäristö. Toimintaympäristön tarkastelu on rajattu käsittelemään toimintaympäristön sotilasajoneuvoille aiheuttamia erityispiirteitä. Tällä käsittelyllä on tarkoitus muodostaa lukijalle käsitys toimintaympäristön aiheuttamista rajoitteista hybridijärjestelmien hyödyntämiselle sotilassovelluksissa. Ajoneuvon käytön tarkastelussa lähtökohdaksi on rajattu poikkeusolojen toimintaympäristö, koska ajoneuvon ensisijainen tarkoitus on soveltua poikkeusolojen toimintaan. Lisäksi poikkeusolojen toimintaympäristö on normaalioloja haastavampi, joten poikkeusoloihin soveltuva ajoneuvo tai ominaisuus voidaan todeta soveltuvaksi myös normaalioloihin.

Tässä tutkimuksessa käsitellään myös suorituskyvyn rakentamista ja ylläpitoa sekä sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmää, koska tämä mahdollistaa kyselytutkimuksessa käytettyjen ominaisuuksien sitomisen puolustusvoimien käyttämiin suorituskyvyn määritelmiin. Vaatimustenhallinnan kokonaisuuden ja sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmän tarkastelu antaa ymmärryksen suorituskyvyn rakentamisen prosessista ja tarjoaa puolustusvoimien normiston mukaisen terminologian hybridijärjestelmien tarjoamien mahdollisuuksien luokittelulle. Näiden aiheiden syvälinen tarkastelu rajataan kuitenkin pois tästä tutkimuksesta, koska työn tavoitteena ei ole tutkia suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessia.

Kuvassa 1 esitetään tutkittavan aiheen suhteita sitä sivuaviin näkökulmiin. Kuvassa havainnollistetaan tutkimuksen teoreettista viitekehystä, jossa hybriditeknologioiden hyödyt ja haasteet sotilassovelluksissa yhdistyvät puolustusvoimien suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessin sekä ajoneuvon käyttäjien näkökulmien kanssa. Lisäksi kaikkiin edellä mainittuihin osaluokiin vaikuttaa teknologinen kehitys.



Kuva 1: Tutkimuksen teoreettinen viitekehys

1.2. Tutkimuksen tarve ja aikaisemmat tutkimukset

Hybridijärjestelmien käyttöä siviilisovelluksissa on tutkittu myös Suomessa viime aikoina paljon. Esimerkiksi Tampereen teknillisessä yliopistossa on tehty aiheeseen liittyviä diplomitöitä, kuten Saara Hännikäisen *Akuston liittäminen hybridijärjestelmään* ja Ilari Äijälän *Jaetun tehon hybridijärjestelmän mallintaminen*. Näiden lisäksi muun muassa Aalto yliopistossa aiheesta diplomityön *Raskaan hybridiajoneuvon suuntaajien ja ohjausjärjestelmän testausympäristö* on tehnyt Tapio Vierros. Saatavilla olevassa kotimaisessa tutkimuksessa ei kuitenkaan ole tarkasteltu hybridien hyödyntämistä sotilassovelluksissa.

Ulkomailla sotilassovelluksissa käytettävää hybriditeknologiaa on kuitenkin tutkittu jo kauan. Esimerkiksi Yhdysvaltain maavoimat on tutkinut aihetta jo vuodesta 1943 [6, s. 370]. Viime vuosikymmenen aikana Naton RTO-AVT (Research and Technology Organisation – Applied Vehicle Technology) on julkaissut aiheesta useita tutkimusraportteja, kuten All Electric Vehicle (AECV) for Future Applications (TR-AVT-047), Demonstration of Electric Drive Vehicles (AVT-098) ja Rating Criteria for Electric Military Vehicles (AVT-106). Näiden lisäksi Yhdysvaltain maavoimien TARDEC:ssä (Tank Automotive Research Development and Engineering Center) työskentelevä Denise M. Rizzo on julkaissut aiheeseen liittyviä tutkimuksia, kuten osan väitöskirjastaan *Military Vehicle Optimization and Control*.

Suomen puolustusvoimissa ei ole tutkittu hybridijärjestelmien käyttöä panssaroiduissa ajoneuvoissa. Aihetta on sivuttu vuonna 2007 Ari Laaksosen tekemässä yleisesikuntaupseerikurssin diplomityössä, jossa tarkasteltiin taistelujoneuvojen liikkuvuudelle asetettavia suorituskykyvaatimuksia 2030-luvulla [20]. Aku Saarelaisen Maanpuolustuskorkeakoululle vuonna 2018 tekemässä pro gradu -tutkielmassa tarkasteltiin täyssähkö- ja sähköhybridiajoneuvojen hyödyntämistä sotilaskäytössä etenkin arktisissa olosuhteissa [21]. Tutkimuksessa tarkastelu rajattiin käsittelemään tulevaisuuden maastohenkilöautoa [21]. Hybridijärjestelmien vaikutuksien tärkeyttä puolustusvoimissa on tärkeää tutkia etenkin panssaroitujen miehistönkuljetus- ja taistelujoneuvojen osalta, koska hybridijärjestelmät tullevat yleistymään myös sotilasajoneuvoissa tulevaisuudessa. Tästä syystä tämä tutkimus on ajankohtainen ja tarjoaa erilaista näkökulmaa verrattuna edellä mainittuihin tutkielmiin.

1.3. Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä hybriditeknologioiden käytöllä saavutettavat hyödyt ovat kriittisimpiä ajoneuvon käyttäjän kannalta. Lisäksi tutkimuksessa on tarkoitus tarkastella, ovatko jotkin hybridien käytöstä aiheutuvat haasteet mahdollisesti ylitsepääsemättömiä ongelmia ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta. Tutkimuskysymykset on johdettu työn tavoitteesta seuraavasti:

Tutkielman pääkysymyksenä on:

- Miten ajoneuvon käyttäjät suhtautuvat hybriditeknologioiden käyttöön panssaroiduissa pyöräajoneuvoissa?

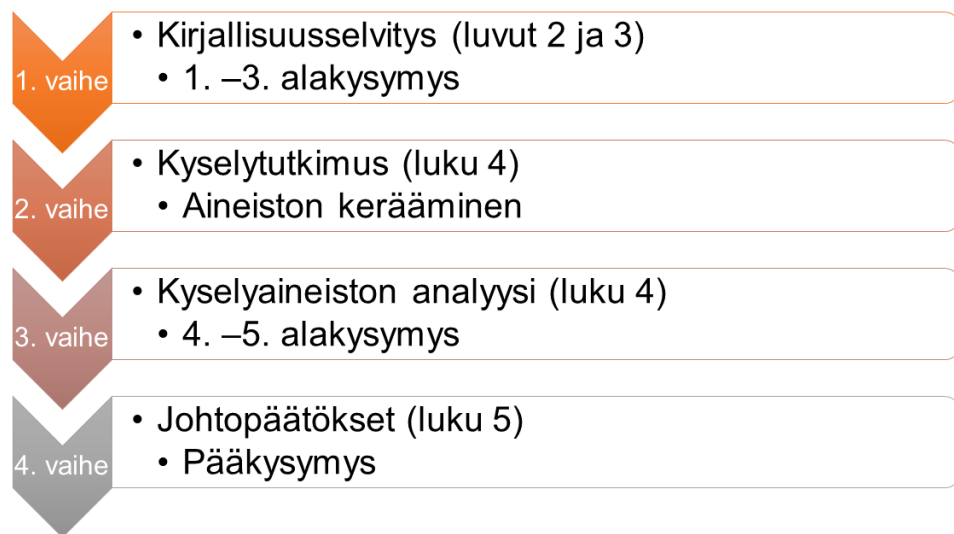
Pääkysymystä täydennetään seuraavilla alakysymyksillä:

- Miten vaatimustenhallinta ja sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä määrittää puolustusvoimissa?
- Mitä hyötyjä hybriditeknologioiden hyödyntämisellä voi olla panssaroiduille ajoneuvoille?
- Mitä haasteita hybriditeknologioiden hyödyntämisellä voi olla panssaroiduille ajoneuvoille?
- Mitä hybriditeknologian käytöllä saavutettavia kyvykkyyksiä pidetään tärkeimpinä panssaroiduissa ajoneuvoissa?
- Miten kriittisinä hybriditeknologioiden aiheuttamia haasteita pidetään panssaroiduissa ajoneuvoissa?

1.4. Tutkimusmenetelmät

Tutkimusstrategialla tarkoitetaan tutkimuksen menetelmällisten ratkaisuiden kokonaisuutta. Tämän tutkimuksen strategiaksi valittiin monimenetelmäisyys. Siinä käytetään saman tutkimusongelman ratkaisuun useita erilaisia tutkimusmenetelmiä [22]. Näiden avulla on mahdollista selvittää laaja-alaisemmin vastauksia tutkimusongelmaan kuin käytettäessä yhtä menetelmää.

Tutkimusmenetelmät jaetaan pohjimmiltaan kvantitatiivisiin eli määrällisiin ja kvalitatiivisiin eli laadullisiin menetelmiin. Menetelmien valinta riippuu tutkimuksen ongelmasta ja näiden pitää olla yhteensopivia toistensa kanssa. [23, s. 123–135] Tässä tutkimuksessa käytetään sekä määrällisiä että laadullisia menetelmiä. Tutkimus voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen, joissa kussakin on käytetty toisistaan eriäviä menetelmiä aineiston keräämiseksi ja analysoimiseksi. Kuvassa 2 esitetään tutkimuksen jako vaiheisiin, niissä käytettävät tutkimusmenetelmät sekä tutkimuskysymykset, joihin eri vaiheissa vastataan.



Kuva 2: Tutkimusmenetelmät tutkimuksen eri vaiheissa

Ensimmäisen vaiheen tutkimusmenetelmäksi valittiin kirjallisuusselvitys tutkimuksen teorian luomiseksi ja käsittelemiseksi. Kirjallisuusselvitys voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, kuvailevaan ja systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen sekä meta-analyysiin. Tässä tutkimuksessa käytetään sekä narratiivista että integroivaa kirjallisuusselvitystä. Narratiivisella kirjallisuusselvityksellä on mahdollista antaa laaja kuva käsiteltävästä aiheesta sekä kuvailla käsiteltävän aiheen historiaa ja kehityskulkua. Integroivalla kirjallisuusselvityksellä tutkittavaa ilmiötä voidaan kuvata mahdollisimman monipuolisesti, koska siinä tutkimusaineistoa ei seulota ja valikoida yhtä tarkasti kuin systemaattisessa katsauksessa. [24, s. 6–9]

Tutkimusraportin toisessa ja kolmannessa luvussa esitetty teoria on luotu kirjallisuusselvityksellä. Toisessa luvussa käsitellään narratiivisen katsauksen keinoin puolustusvoimien suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessia sekä siihen keskeisesti liittyviä vaatimustenhallintaa ja sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmällä. Katsaus aikaisempaan tutkimukseen ja tämän työn teoriaan on esitetty tutkimusraportin kolmannessa luvussa, jossa menetelmänä on käytetty integroivaa katsausta. Näiden lukujen avulla luotua teoriapohjan perusteella on vastattu ensimmäiseen, toiseen ja kolmanteen alakysymykseen. Lisäksi teoriapohjaa on hyödynnetty toisessa vaiheessa toteutetun kyselyn kysymysten laadinnassa.

Toisessa vaiheessa aineiston keräämiseen käytettiin kyselytutkimusta, jonka pohjalta vastataan neljanteen ja viidenteen alakysymykseen. Kyselytutkimuksella selvitettiin puolustusvoimien henkilöstön näkemyksiä hybriditeknologioiden tarjoamiin hyötyihin ja haasteisiin panssaroituissa pyöräajoneuvoissa. Kyselyssä käytetyt kysymykset koostuivat määrällisen aineistokeruumenetelmän mukaisista väittämistä. Tämän lisäksi kyselyssä käytettiin laadullisen aineistokeruumenetelmän avoimia kysymyksiä. Näiden avulla on mahdollista saada esiin näkökulmia, joita ei ole osattu ottaa huomioon kyselylomakkeen laadinnassa [23, s. 199]. Monivalintakysymyksiä asteikoksi valittiin viisiportainen Osgoodin asteikon, jossa asteikon ääripäät muodostivat adjektiivit tarpeeton ja tärkeä sekä ei-kriittinen ja kriittinen [25, s. 38–39]. Viisiportaisuus valittiin, koska viittä vaihtoehtoa pidetään yleisesti sopivana määränä yhtä aikaa käsiteltäväksi [25, s. 37].

Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa on analysoitu kyselytutkimuksella kerättyä aineistoa. Kyselytutkimuksen kysymyksistä saatuja havaintoarvoja on vertailtu, sekä niiden analysointiin on käytetty tilastollisia menetelmiä. Sisällönanalyysillä on analysoitu avoimilla kysymyksillä tuotettua aineistoa. Aineiston keruun ohella myös sen analysoinnissa on käytetty sekä määrällisiä että laadullisia menetelmiä. Aineiston tarkempi analysointi on selostettu alaluvussa 4.2. Analyysimenetelmä. Tutkimuksen neljännessä vaiheessa on yhdistetty aiemmissa vaiheissa kerätyjä aineistoja ja tehty johtopäätöksiä niiden pohjalta. Johtopäätökset on esitetty tämän raportin viidennessä pääluvussa ja niillä vastataan tutkimuksen pääkysymykseen.

1.5. Kirjallisuusselvityksen aineisto ja lähdekritiikki

Tämän tutkimuksen teoriapohja muodostettiin kirjallisuusselvityksellä, jonka onnistumisen edellytyksenä on hyvin toteutettu tutkimusaineiston hankinta. Teoriaosuuden luomisessa käytetty tutkimusaineisto koostui pääasiassa aiheeseen liittyvistä, ajankohtaisista tieteellisistä julkaisuista ja konferenssiraporteista. Myös hybriditeknologiaa käsittelevää kirjallisuutta pystyttiin hyödyntämään aineistossa. Kirjallisuusaineiston valinnassa pyrittiin painottamaan vertaisarvoituja tieteellisiä julkaisuja ja konferenssijulkaisuja. Näiden pohjalta käsiteltävästä aiheesta

pyrittiin luomaan mahdollisimman kattava yleiskuva, jota täydennettiin siihen kuuluviin osakokonaisuuksiin liittyvin hakutermein hankituilla lähteillä.

Kirjallisuusselvityksen aineiston hankinnassa hyödynnettiin pääasiassa Institute of Electrical and Electronics Engineers'n (IEEE) ja Google Scholar'n hakupalveluita. Molemmista palveluista aineiston keräämisessä hyödynnettiin hakusanoja ”military”, ”hybrid”, ”electric” ja ”vehicle” useilla erilaisilla yhdistelmillä. Aineistonhankinnassa käytettiin myös Maanpuolustuskorkeakoulun kirjaston tietokantaa sekä tavallista Google-hakua. Puolustusvoimien asianhallintajärjestelmää hyödynnettiin lähteiden hankinnassa puolustusvoimien normiston osalta. Julkaisujen ajankohtaa ei rajattu hakuvaiheessa kattamaan tiettyä aikaväliä, mikä on voinut aiheuttaa haasteita lähteiden ajankohtaisuudelle ja siten luotettavuudelle. Lähteiden valinnassa pyrittiin kuitenkin painottamaan mahdollisimman viimeaikaisia julkaisuja. Käytetyistä palveluista löytyi useita hakuehtoihin soveltuvia julkaisuja. Näiden soveltuvuutta lähdeaineistoksi arvioitiin tarkemmin julkaisujen tiivistelmien ja lähdeviitteiden lisäksi myös julkaisujen sisällön karkealla arvioinnilla.

Puolustusvoimien normistoon perustuvan aineiston analyysissä hyödynnettiin narratiivista katsausta. Aineiston pohjalta muodostettiin yleiskuva puolustusvoimien suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessista sekä siihen liittyvistä vaatimustenhallinnasta ja sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmällistä. Tästä yleiskuvasta pyrittiin korostamaan tämän tutkimuksen kannalta keskeisiä käsitteitä ja prosesseja. Käsittelyssä käytetty lähdeaineisto oli tutkimuksen tekohelellä voimassa olevaa puolustusvoimien normistoa, joka kestää lähdekriittisen tarkastelun. Näitä täydentämään käytettiin kuitenkin 2000-luvun lopussa ja 2010-luvun alussa tehtyjä Sotatekniikan laitoksen vaatimustenhallintaa käsitteleviä teoksia, jotka eivät enää täysin vastaa puolustusvoimissa käytössä olevaa normistoa ja sen termejä. Tämä asia on pyritty tuomaan esiin myös asian käsittelyn yhteydessä tämän tutkimuksen toisessa luvussa.

Hybriditeknologioita käsittelevän aineiston analyysissä käytettiin integroivaa katsausta, jossa aihetta pyrittiin kuvaamaan mahdollisimman monipuolisesti. Hybriditeknologioiden toteutus-
tapojen käsittely tehtiin useissa lähteissä esiintyneen kirjan pohjalta. Käytetty *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles* -teos on vuodelta 2005, mikä osaltaan vaikuttaa teoksen luotettavuuteen. Hybridijärjestelmien teknisen toteutuksen osalta teoksen tietoja pyrittiin tästä syystä varmentamaan myös muista, uudemmissa lähteistä.

Hybriditeknologioiden käytön käsittelyn perustana käytettiin Naton AECV-tutkimusta vuodelta 2004. Myös tämän lähteen tapauksessa on huomioitava julkaisuajankohta ajantasaisuuden arvioinnissa. Kyseisessä lähteessä mainitut hybridijärjestelmien käyttöön liittyvät haasteet eivät välttämättä kaikilta osin ole paikkaansa pitäviä, koska teknologisen kehityksen myötä on mahdollista, että näihin haasteisiin on löydetty ratkaisuja. Etenkin teknisten haasteiden, mutta myös hybridijärjestelmien tarjoamien hyötyjen osalta on pyritty käyttämään myös muita aiheeseen liittyviä uudempia lähteitä ajantasaisuuden ja kirjallisuusselvityksen luotettavuuden parantamiseksi. Tällaisia lähteitä ovat esimerkiksi akkuteknologian ja sähkömoottorien kehitystä käsittelevät julkaisut.

Lähdemateriaalina hybriditeknologioiden käytöstä sotilassovelluksissa on käytetty myös näitä järjestelmiä valmistavien yritysten julkaisemaa materiaalia, jota tulee tarkastella erityisen kriittisesti. Kyseisissä materiaaleissa esitettyihin suorituskykyarvoihin on suhtauduttava suuntaantavina, koska materiaali on tehty todennäköisesti ainakin osittain myynninedistämistarkoituksessa. Näitä arvoja ei myöskään ole ollut mahdollista varmentaa tämän tutkimuksen puitteissa.

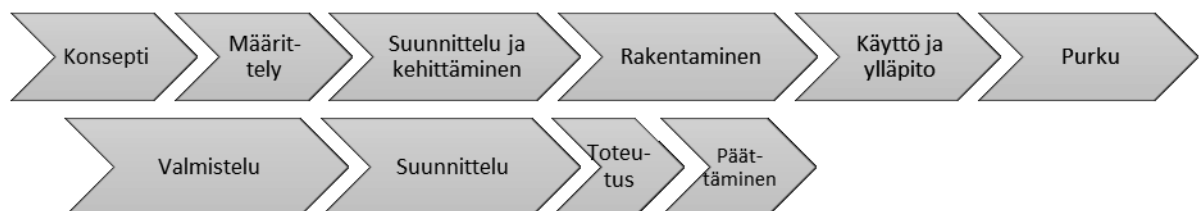
2 SUORITUSKYVYN RAKENTAMINEN JA YLLÄPITO SEKÄ SOTILAALLISEN SUORITUSKYVYN KÄSITEMALLI

Tässä pääluvussa tarkastellaan sotilaallisen suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessia, siihen liittyvää vaatimustenhallinnan kokonaisuutta sekä sotilaallisen suorituskyvyn käsitettä. Näitä kokonaisuuksia käsitellään tässä tutkimuksessa, koska niiden avulla voidaan käyttää puolustusvoimien virallista termistöä tutkimuksen yhteydessä toteutettavassa kyselyssä. Lisäksi tämän pääluvun tavoitteena on luoda lukijalle käsitys puolustusvoimien suorituskyvyn rakentamisen prosessista ja siihen liittyvistä menetelmistä.

2.1. Suorituskyvyn rakentaminen ja ylläpito

Suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon kokonaisuus muodostaa puolustusvoimien pääprosessin kaksi. Perusteet suorituskyvyn rakentamiselle ja ylläpidolle tulevat puolustusvoimien pääprosessista yksi (suorituskyvyn suunnittelu ja kehittäminen). Strategisessa suunnittelussa määritetään ne suorituskyvyt, joukot ja järjestelmät, joita kehitetään, rakennetaan tai ylläpidetään. Lisäksi siinä määritetään suorituskyvyt, joista luovutaan. Suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessia ohjataan puolustusvoimien tavoitetilan perusteella luotujen käyttö- ja toimintaperiaatteiden sekä puolustusvoimien kehittämisohjelmien kautta. [26, s. 4–5]

Suorituskyvyn rakentamisen kehittämiseksi puolustusvoimissa on käytössä suorituskyvyn elinjaksomalli. Se jakautuu kuuteen vaiheeseen, jotka on esitetty kuvassa 3. [27, s. 12–13; 28, s. 8] Siirtyminen elinjaksomallin vaiheiden välillä edellyttää elinjaksopäätösten tekemistä. Suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon hankkeet liittyvät elinjaksomalliin siten, että hankkeen valmistelu tapahtuu elinjaksomallin vaiheissa yksi ja kaksi, suunnittelu elinjaksomallin vaiheissa kolme ja toteutusvaihe elinjaksomallin vaiheissa neljä. Kun hankkeen tehtävä on suoritettu, hanke päättyy ja elinjaksomallissa siirrytään rakennetun kokonaisuuden käyttöön ja ylläpitoon vaiheessa viisi. Suorituskyvystä luovutaan elinjaksomallin vaiheessa kuusi. [28, s. 8]



Kuva 3: Elinjaksomallin ja hankkeen vaiheet [28, s. 8]

2.2. Vaatimustenhallinta suorituskyvyn rakentamisessa ja ylläpidossa

Suorituskyvyn rakentamisessa ja ylläpidossa yksi keskeinen menetelmä on vaatimustenhallinta. Se mahdollistaa muun muassa asiakkaan tarpeiden ja tavoitteiden kirjaamisen oikein ja ilmaissiten, että eri sidosryhmät ymmärtävät ne samalla tavalla. [28, s. 4] Vaatimustenhallinnan menettelyjä noudattamalla voidaan analysoida suorituskyvyn perusteet ja suorituskyvyn todellinen taso sekä järjestelmän suorituskyvyn kehittäminen järjestelmän koko elinjakson ajan [26, s. 5; 27, s. 13]. Vaatimustenhallintaa soveltamalla vaikuttavuustavoitteiden määrittelyn kautta muodostetaan suorituskykyvaatimukset, joiden pohjalta määritetään, millä osajärjestelmillä ja kyvykkyyksillä kyseiset tavoitteet aiotaan toteuttaa [26, s. 5]. Vaatimustenhallintaa hyödyntämällä on mahdollista määrittää selkeästi ja loogisesti, mitä ollaan tavoittelemassa [29, s. 2].

Vaatimustenhallinta voidaan jakaa eri työvaiheisiin suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon yhteyksissä. Työvaiheisiin sisältyy muun muassa sidosryhmien tunnistaminen, vaatimusten kokoaminen, vaatimusten johtaminen sekä vaatimusten asettaminen tärkeysjärjestykseen. Vaatimusten kokoamisella tarkoitetaan sidosryhmien tarpeiden selvittämistä. Vaatimusten johtamisen yhteydessä tarpeiden avulla suorituskykyvaatimuksista muodostetaan kyvykkyyksivaatimuksia, joista johdetaan edelleen järjestelmävaatimuksia. Luokittelun ohella vaatimukset tulee asettaa tärkeysjärjestykseen, johon käytetään kolmiportaista asteikkoa. [30, s. 1-1-1-4] Vaatimukset ovat a) kriittisiä, b) ensisijaisia tai c) toissijaisia [30, s. 2-6].

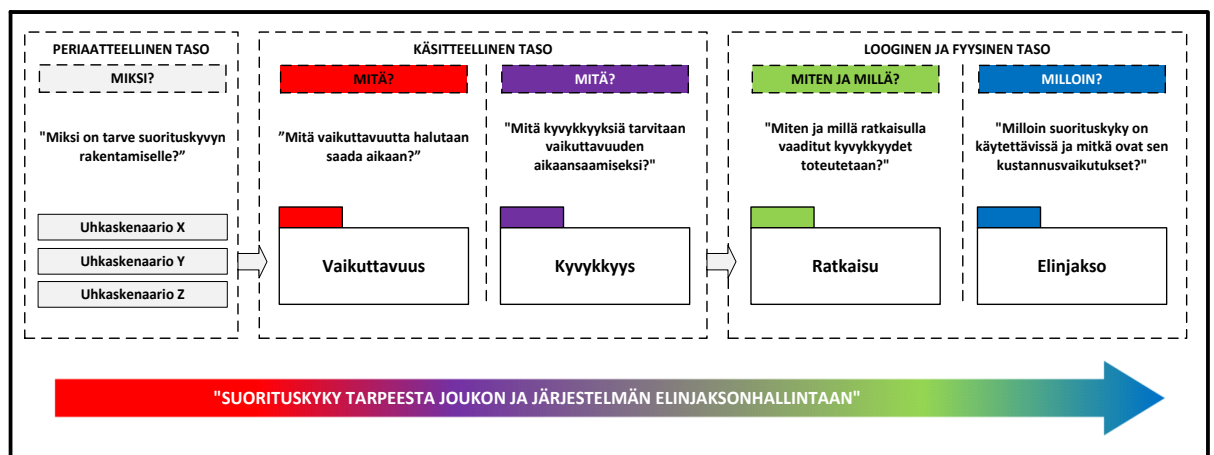
Järjestelmävaatimusten yhteydessä on mahdollista tarkastella taktisia suorituskykyvaatimuksia. Ne jaetaan viiteen osa-alueeseen, joita ovat johtaminen, tulivoima, liikkuvuus, taistelunkesto ja logistiikka. Näihin osa-alueisiin sisältyvät esimerkiksi järjestelmän johtamisjärjestelmään, aseistuksen suorituskykyyn ja käytönaikaiseen ylläpitoon sisältyvät vaatimukset. Liikkuvuuden osa-alueen yhteydessä tarkastellaan myös järjestelmän operatiivista sekä strategista liikkuvuutta, vaikka kyseessä onkin taktiset suorituskykyvaatimukset. [27, s. 31–35] Taktisen suorituskyvyn osa-alueiden tarkastelussa on kuitenkin huomioitava, etteivät ne ole puolustusvoimien virallisten määritelmien mukaisia.

Vaatimustenhallinnan kokonaisuuteen liittyy sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä, jonka keskeisenä soveltamisalana on vaatimustenhallinta. Käsitelmä toimii suorituskykyyn kohdistuvien vaatimusten asettamisen viitekehyksenä, kun käsitelmää sovelletaan vaatimustenhallintaan. Tällöin suorituskyky kuvataan tarpeisiin ja ratkaisuun kohdistuvina vaatimuksina. [31, s. 4] Sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmää käsitellään tarkemmin seuraavassa alaluvussa.

2.3. Sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä

Sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä koostuu neljästä näkökulmasta, joihin sisältyvät käsitteet perustuvat pääsääntöisesti Naton terminologiaan [31, s. 4]. Suorituskyky terminä määritellään puolustusvoimissa seuraavasti: ”Kyky suorittaa tietty toiminta tai saavuttaa tietty vaikutus (APP-39)”. [31, s. 5–6] Kuvassa 4 on esitetty sotilaallisen suorituskyvyn käsitemallin näkökulmat. Niillä pyritään vastaamaan määritetyn uhkaskenaarion perusteella neljään keskenään si-doksissa olevaan kysymykseen [31, s. 6]:

1. Mitä vaikuttavuutta halutaan saada aikaan?
2. Mitä kyvykkyyksiä tarvitaan vaikuttavuuden aikaansaamiseksi?
3. Miten ja millä ratkaisulla vaaditut kyvykkyydet toteutetaan?
4. Milloin suorituskyky on käytettävissä ja mitkä ovat sen kustannusvaikutukset?



Kuva 4: Sotilaallisen suorituskyvyn käsitemallin näkökulmat [31, s. 5]

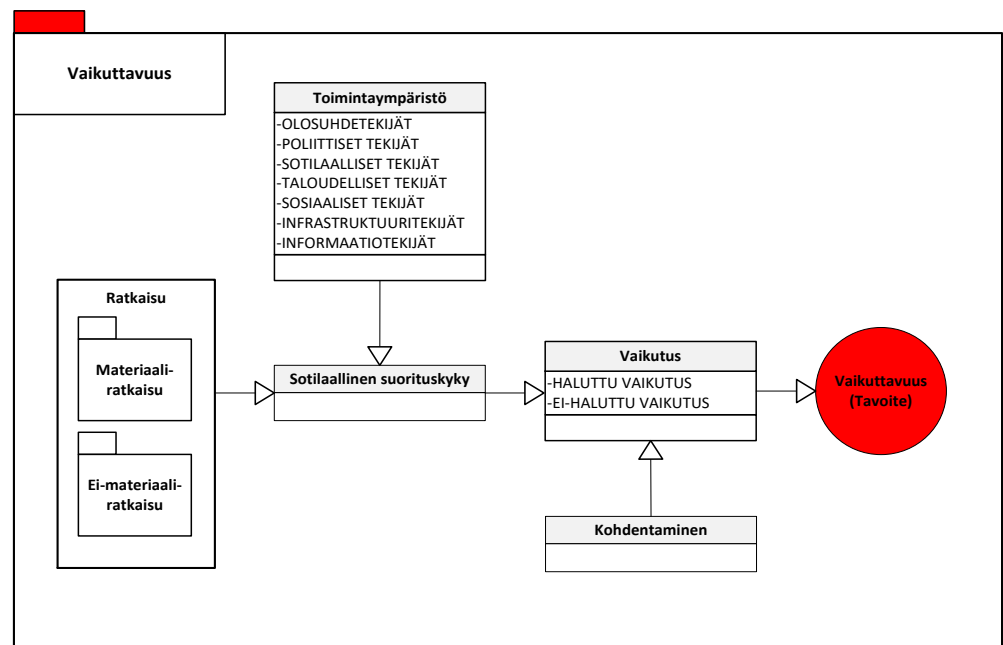
Kuvassa 4 esiintyvistä näkökulmista vaikuttavuus ja kyvykkyys ovat toteutusriippumattomia, käsitteellisen tason abstrakteja näkökulmia, jotka kuvaavat suorituskykyä ottamatta kantaa toteuttavaan ratkaisuun. Ratkaisu ja elinjakso sen sijaan ovat loogisen ja fyysisen tason näkökulmia, jotka ovat riippuvaisia toteutuksesta. Ratkaisun osatekijät kuvataan ratkaisunäkökulmassa ja ratkaisun elinjakso elinjaksonäkökulmassa. [31, s. 5–6]

Käsitelmä ei ole prosessikuvaus eikä sen käyttö edellytä minkään tietyn prosessin käyttämistä. Käsitemallin näkökulmia voidaan soveltaa esimerkiksi siten, että vaikuttavuusnäkökulmaa käytetään strategisessa suunnittelussa puolustusjärjestelmän ja osajärjestelmien suorituskykyvaatimusten laadinnassa. Kyvykkyysnäkökulman käyttö soveltuu taas kuvaamaan puolustusjärjestelmä- ja osajärjestelmätasolla, mitä kyvykkyyksiä tarvitaan vaikuttavuuden aikaansaamiseksi. Ratkaisunäkökulman käyttö on perusteltua esimerkiksi ratkaisuja tuottavalla tasolla tukemaan

järjestelmävaatimusten laadintaa. Elinjaksonäkökulma soveltuu käytettäväksi joukkojen ja järjestelmien tasolla ja erityisesti tukemaan suorituskykyjen elinjaksohallintaa. [31, s. 11]

2.3.1. Vaikuttavuusnäkökulma

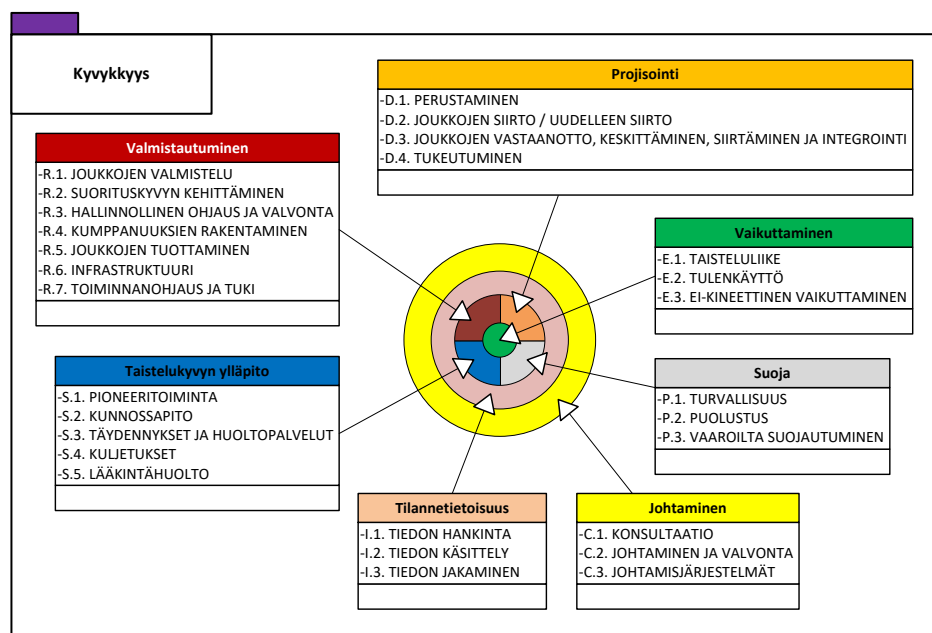
Vaikuttavuusnäkökulma kuvaa käsitteellisellä tasolla, mitä vaikuttavuutta halutaan saada aikaan. Vaikuttavuutta käytetään kuvaamaan esimerkiksi haluttu lopputulos tai päämäärä. Vaikuttamiseen käytettävä ratkaisu voi olla materiaallinen tai ei-materiaallinen ratkaisu, josta muodostuu sotilaallisen suorituskyky. Vaikutus, kohdentaminen ja toimintaympäristö ovat vaikuttavuuteen sidonnaisia käsitteitä. [31, s. 7] Näistä vaikutuksella tarkoitetaan toiminnasta tai muista syistä aiheutuvaa järjestelmän tai järjestelmäelementin tilan muutosta [31, s. A-2]. Se kuvaa suorituskyvyn käytön halutun ja ei-halutun vaikutuksen kohteeseen [31, s. 7]. Toimintaympäristö on olosuhteiden, tilanteiden ja vaikutusten yhdistelmä, joka vaikuttaa suorituskykyjen käyttöön ja komentajan päätöksiin. [31, s. A-3] Suorituskyvyn käyttö on riippuvainen kuvassa 5 esitetyistä toimintaympäristötekijöistä [31, s. 7]. Suorituskyvyn käytön suuntaaminen ajallisesti ja alueellisesti kuvataan kohdentamisella [31, s. 7]. Sen kautta määritetään, missä operaatioalueella suorituskykyä tulee voida käyttää. Lisäksi määritetään, kuinka nopeasti se on voitava kohdentaa operaatioalueelle, ja kuinka kauan sitä on kyettävä ylläpitämään siellä. [31, s. A-3]



Kuva 5: Vaikuttavuusnäkökulman osatekijät [31, s. 7]

2.3.2. Kyvykkyysnäkökulma

Kyvykkyysnäkökulma kuvaa käsitteellisellä tasolla, mitä kyvykkyksiä tavoitellun vaikuttavuuden aikaansaamiseksi tarvitaan. Kyvykkyysnäkökulmassa ei oteta kantaa toteutukseen, jolla kyvykkyudet ja haluttu vaikuttavuus saavutetaan. Kyvykkyysnäkökulma on jaettu seitsemään pääkyvykkyysalueeseen, jotka luovat yhteisen rakenteen kyvykkyysvaatimusten määrittämiselle. Tämän lisäksi ne tuottavat strategisen tason kyvykkyuden toiminnallisuudet. Pääkyvykkyudet on jaettu edelleen alakyvykkyysalueisiin. Kyvykkyysnäkökulman hierarkkinen rakenne on esitetty kuvassa 6. [31, s. 8]



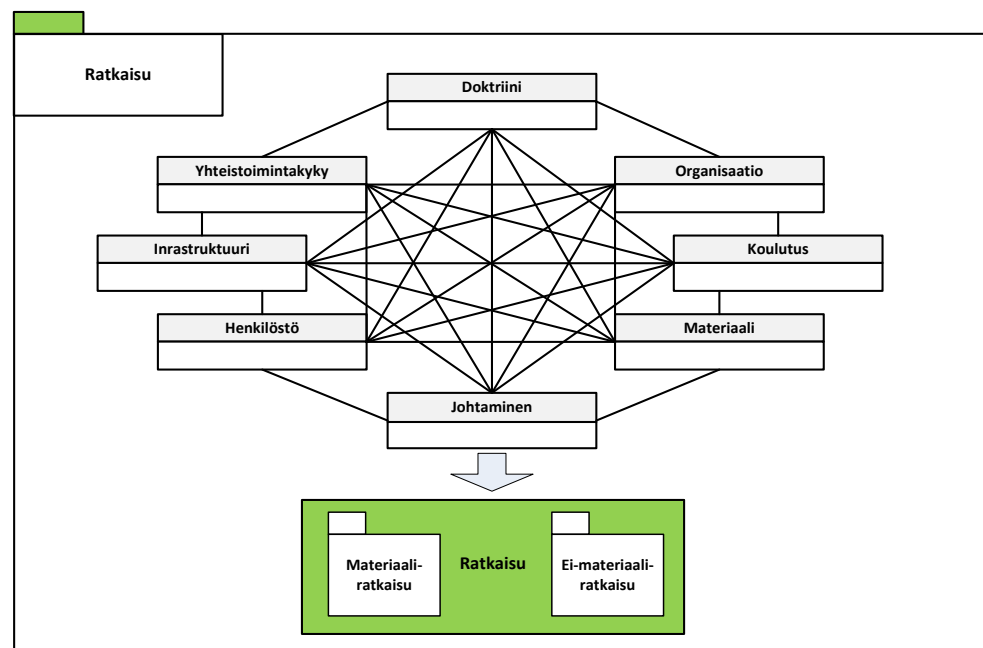
Kuva 6: Kyvykkyysnäkökulman rakenne [31, s. 8]

Sotilaallisen suorituskyvyn ydin on kuvan 6 mukaisesti vaikuttamisen kyvykkyys, joka on kyky suorittaa suoraan operaation päämäärien saavuttamista edistäviä tehtäviä [31, s. B-7–B-8]. Tarvittavat kyvykkyudet määritetään halutun vaikuttavuuden perusteella. Vaikuttavuuden saavuttamiseksi tarvitaan pääsääntöisesti useita tai jopa kaikkia kyvykkyksiä. [31, s. 9] Näistä yksi on projisoinnin kyvykkyys, joka sisältää muun muassa kyvyn suorittaa joukkojen keskittämisen ja siirtämisen. [31, s. B-2–B-7] Halutun vaikuttavuuden saavuttamiseksi keskeisiä kyvykkyksiä ovat myös suoja ja taistelukyvyyn ylläpito. Suojan kyvykkyydellä tarkoitetaan kykyä minimoida muun muassa henkilöstön ja materiaalin haavoittuvuus kaikkia uhkia vastaan kaikissa tilanteissa. Taistelukyvyyn ylläpito taas on kyky suunnitella ja toteuttaa joukon oikea-aikainen tuki ja taistelukyvyyn ylläpito. Taistelukyvyyn ylläpitoon sisältyvät esimerkiksi kunnossapito sekä täydennykset ja huoltopalvelut. Näihin sisältyvät muun muassa kyvykkyudet poltto- ja voiteluainetäydennyksiin. [31, s. B-11–B-16]

Pohjan edellä mainituille kyvykkyyksille luovat johtamisen ja tilannetietoisuuden kyvykkyydet. Tilannetietoisuuden kyvykkyys on kyky saada aikaan ja ylläpitää tilannetietoisuus, jotta komentajat kaikilla tasoilla voivat tehdä oikea-aikaisia ja perusteltuja päätöksiä. Tilannetietoisuuden kyvykkyyteen sisältyvät esimerkiksi tiedonhankinnan ja -käsittelyn kyvykkyydet. Johtamisen kyvykkyys mahdollistaa osaltaan muun muassa kyvyn kommunikoida ja koordinoida toimintaa operaatioalueella olevien muiden toimijoiden kanssa. Johtamisjärjestelmät ovat yksi johtamisen keskeisimmistä alakäsitteistä. Johtamisjärjestelmät ovat kyky turvalliseen ja tehokkaaseen tiedonsiirtoon, käsittelyyn ja tallentamiseen tehtävien tukemisessa. [31, s. B-16–B-19]

2.3.3. Ratkaisunäkökulma

Ratkaisunäkökulma on ensimmäinen toteutusriippuvainen sotilaallisen suorituskyvyn käsitteellisen näkökulma. Ratkaisunäkökulmassa korostuu käsite järjestelmä, joka on toistensa kanssa vuorovaikutteisten osien yhdistelmä ja koottu yhtä tai useampaa asetettua tarkoitusta varten. Kuvassa 7 on esitetty ratkaisunäkökulma ja sen kahdeksan osatekijää (DOTMLPFI). Osatekijöiden välisten suhteiden kombinaatioiden avulla saavutetaan tavoitellut kyvykkyydet ja vaikuttavuus. [31, s. 9–10]



Kuva 7: Ratkaisunäkökulman osatekijät ja niiden väliset suhteet [31, s. 10]

Ratkaisun osatekijät ovat keskeisessä asemassa ratkaisujen valinnassa, konfiguraatioiden määrittelyssä ja hankkeiden priorisoinnissa suorituskyvyn kehittämisen kokonaisuudessa. Osatekijöitä ovat esimerkiksi doktriini, joka sisältää joukon toimintaa tavoitteiden saavuttamiseksi ohjaavia peruseriaatteita. Tämän ohella materiaali, joka on muun muassa joukon varustamiseen ja tukemiseen käytettäviä välineitä, on ratkaisunäkökulman osatekijä. [31, s. D-2] Osatekijöiden kokonaisuuksissa kuvastuu suorituskyvyn kehittämisen prosessi ja siihen vaikuttavat

tekijät. Esimerkiksi panssaroitu pyöräajoneuvo on yksi osa ratkaisua, joka muodostaa yhdessä järjestelmän ja sitä käyttävän joukon kanssa kyvykkyydet, joilla saadaan aikaan määritetyt vaikuttavuudet.

2.3.4. Elinjaksonäkökulma

Elinjaksonäkökulma kuvaa suorituskyyä tuottavien joukkojen ja järjestelmien elinjaksuja. Elinjaksolla tarkoitetaan järjestelmän, tuotteen tai palvelun kehittymistä konseptista luopumiseen saakka. Näkökulman avulla vastataan esimerkiksi kysymyksiin: "Milloin suorituskyy on käytettävissä ja mitkä ovat sen kustannusvaikutukset?". [31, s. 10–11]

2.4. Yhteenveto

Puolustusvoimien suorituskyyyn rakentamisen ja ylläpidon prosessissa sovelletaan vaatimustenhallintaa ja sotilaallisen suorituskyyyn käsitelmän kokonaisuuksia. Näistä jälkimmäisten tavoitteena on varmistaa, että suorituskyyyn rakentamisen yhteydessä vaatimusmäärittely etenee ratkaisuriippumattomista vaatimuksista kohti ratkaisuriippuvia vaatimuksia. Tällöin esimerkiksi vaikuttavuusnäkökulman vaatimuksilla ei rajata hyödynnettävissä olevia ratkaisuja pois suorituskyyyn rakentamisesta.

Tämän tutkimuksen kannalta sotilaallisen suorituskyyyn käsitelmällistä keskeisiä kokonaisuuksia ovat kyvykkyyks- ja ratkaisunäkökulmat. Niihin liittyviä termejä sovelletaan tutkimuksen osana toteutettavassa kyselyssä, jossa seuraavassa pääluvussa esitetyt hybridijärjestelmien tarjoamat hyödyt on muotoiltu kyvykkyyksiksi. Nämä kyvykkyydet on ryhmitelty taktisen suorituskyyyn osa-alueiden mukaisesti viiteen ryhmään. Taktisen suorituskyyyn osa-alueita hyödynnetään, koska niiden avulla on mahdollista ryhmittää muodostetut kyvykkyydet kyvykkyyksnäkökulman osa-alueita konkreettisempiin ryhmiin. Tämä siitä huolimatta, etteivät taktisen suorituskyyyn osa-alueet ole puolustusvoimien virallisten määritelmien mukaisia. Toisaalta taktisen suorituskyyyn osa-alueet ovat kokonaisuuksia, jotka voidaan arvioida sisältyvän kyvykkyyksnäkökulman kyvykkyyksalueisiin alla olevan taulukon mukaisesti:

Taulukko 1: Taktisen suorituskyyyn osa-alueiden suhde kyvykkyyksalueisiin

Taktisen suorituskyyyn osa-alue	Kyvykkyyksalue
Tulivoima	Vaikuttaminen
Liikkuvuus	Projisointi
Johtaminen	Johtaminen Tilannetietoisuus
Taistelunkesto	Suoja
Logistiikka	Taistelukyyyn ylläpito

3 HYBRIDITEKNOLOGIOIDEN MAHDOLLISET HYÖDYT JA HAASTEET PANSAROIDUISSA AJONEUVOISSA

Tässä pääluvussa esitellään lyhyesti hybriditeknologioiden toteutustavat. Niiden käsittelyn tavoitteena luoda ymmärrys hybridijärjestelmien rakenteesta. Tämän jälkeen käsiteltävällä toimintaympäristöllä on tarkoitus mahdollistaa hyötyjen ja haasteiden tarkastelu ajoneuvon toimintaympäristön kautta. Luvun lopuksi käsitellään aikaisemman tutkimuksen pohjalta hybridijärjestelmien tarjoamia hyötyjä ja niiden käytön haasteita sotilassovelluksissa.

3.1. Hybriditeknologiat

Ajoneuvon hybridivoimansiirto voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Hybridijärjestelmät luokitellaan niiden toteutustavan mukaan neljään eri ryhmään: sarja-, rinnakkais-, sarja-rinnakkais- ja jaetun tehon hybrideihin. Hybridijärjestelmässä on yleensä kaksi erillistä voimalähdettä, joilla ajoneuvoa voidaan liikuttaa. Tällaisia voimalähteitä ovat esimerkiksi polttomoottori, polttokenno ja akku-sähkömoottoriyhdistelmä. [1, s. 117–121; 32, s. 633] Akkujen ohella polttomoottorilla tuotettua ja jarrutuksessa talteen kerättyä energiaa voidaan varastoida esimerkiksi vauhtipyörissä ja ultrakondensaattoreissa [33, s. 4]. Tässä luvussa käsitellään hybridijärjestelmiä, joissa on polttomoottori ja akusto. Hybridijärjestelmien toteutustavat on kuvattu seuraavissa alaluvuissa.

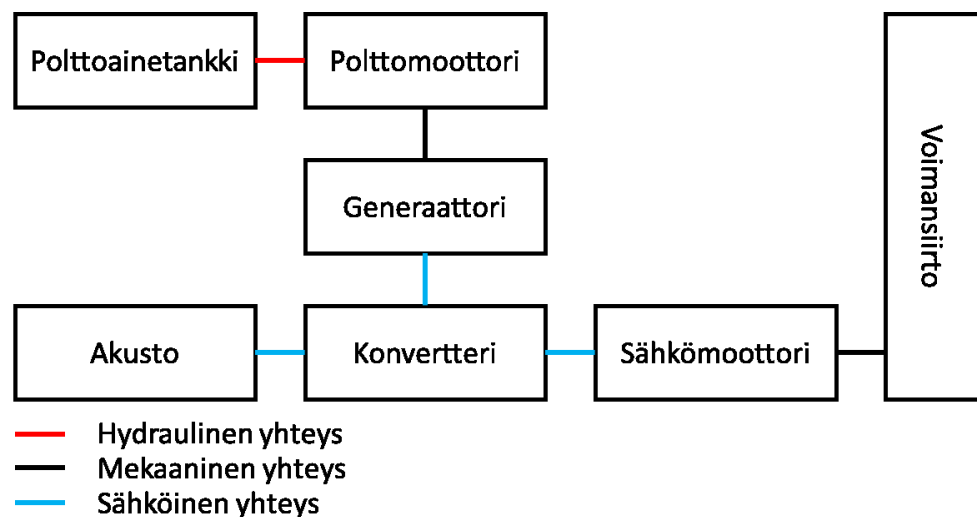
3.1.1. Sarjahybridi

Sarjahybridiajoneuvo on periaatteessa sähköajoneuvo, jossa ajoneuvon akuston varaustilaa ylläpidetään polttomoottorin ja generaattorin avulla. Polttomoottorin mekaaninen energia muutetaan generaattorilla sähköenergiaksi, jonka sähkömoottori muuttaa takaisin mekaaniseksi energiaksi ajoneuvon liikuttamiseksi. Sarjahybridiajoneuvoa voidaan käyttää esimerkiksi seuraavissa toimintatiloissa: [1, s. 122; 5, s. 25–26]

1. Akkutila: Polttomoottori on pois päältä ja ajoneuvo käyttää akkuihin varastoitua energiaa.
2. Polttomoottoritila: Sähkömoottoreille tuotetaan sähköenergiaa polttomoottorilla ja generaattorilla.
3. Hybriditila: Sähkömoottoreille syötetään sähköenergiaa sekä polttomoottori-generaattoriyhdistelmällä että akustolla.
4. Jaetun tehon tila: Polttomoottorilla ja generaattorilla tuotettu sähköenergia jaetaan sähkömoottoreille ja akustolle.

5. Lataus pysähtyneenä: Ajoneuvo on pysähtyneenä ja akustoa ladataan polttomoottori-generaattoriyhdistelmällä.
6. Jarrutusenergian talteenotto: Ajoneuvon jarruttamisen yhteydessä sähkömoottoreita käytetään generaattoreina, joiden tuottamalla sähköenergialla ladataan akustoa.

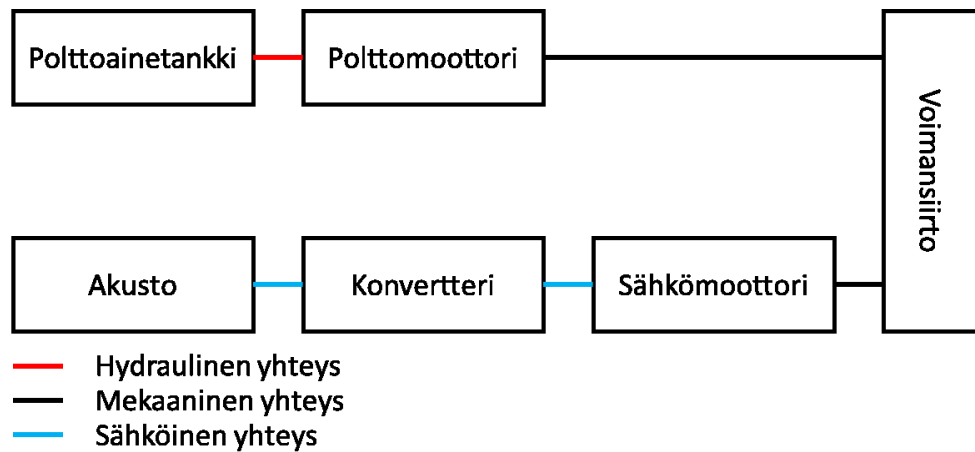
Sarjahybridissä polttomoottorilla ei ole mekaanista yhteyttä ajoneuvon voimansiirtoon. Tästä syystä polttomoottoria voidaan käyttää sille optimaalisella kierrosalueella, jolloin moottorin hyötysuhde on paras [1; 5, s. 26; 34]. Polttomoottorin käyttäminen optimaalisella kierrosalueella parantaa ajoneuvon hyötysuhdetta, vaikka sarjahybridien useiden toimintatilojen takia niiden hyötysuhde on monimutkainen käsite [5, s. 26]. Sarjahybridin periaatteellinen rakennekuva on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8: Sarjahybridin rakennekuva [1, s. 121; 34; 35]

3.1.2. Rinnakkaishybridi

Rinnakkaishybridissä poltto- ja sähkömoottori toimivat rinnakkain. Molemmat moottorit on kytketty mekaanisesti ajoneuvon voimansiirtoon. [1, s. 123] Rinnakkaishybridissä tehoa voidaan syöttää voimansiirrolle suoraan polttomoottorilta, sähkömoottorilta tai käyttäen molempia yhtä aikaa. Rinnakkaishybridin hyvä puoli verrattuna sarjahybridiin on, että rakenne vaatii ainoastaan kaksi voimakonetta (polttomoottori ja sähkömoottori). Energiamuunnoksia esiintyy vähemmän kuin sarjahybridissä ja hyötysuhde paranee. Lisäksi rinnakkaishybridin etuna sarjahybridiin nähden on, että siinä voidaan yhdistää pienempi polttomoottori ja pienempi sähkömoottori saman suorituskyvyn aikaansaamiseksi. [34; 35] Rinnakkaishybridin periaatteellinen rakennekuva on esitetty kuvassa 9.



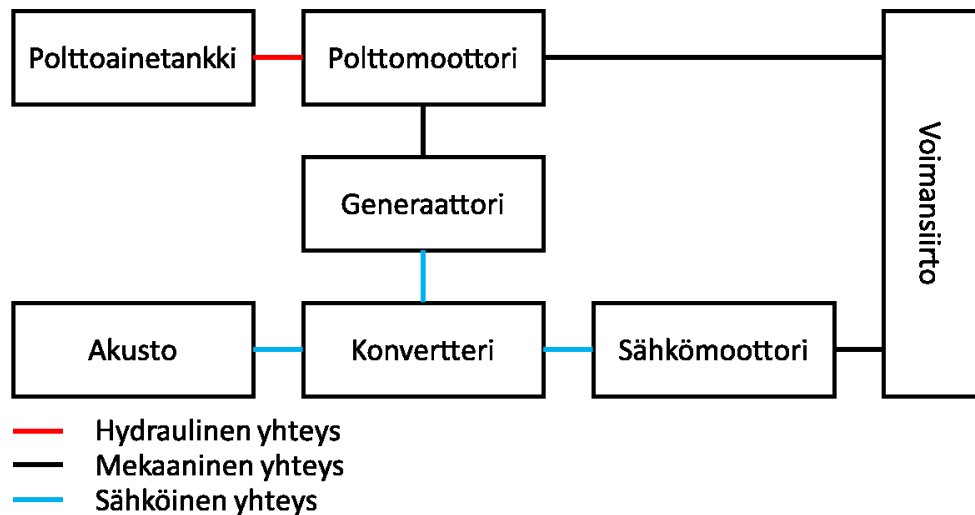
Kuva 9: Rinnakkaishybridin rakennekuva [1, s. 121; 34; 35]

Rinnakkaishybridin toimintatiloja voivat esimerkiksi olla: [1, s. 132; 5, s. 29]

1. Sähkömoottoritila: Polttomoottori on pois päältä ja sähkömoottorit käyttävät akustoon varastoitua energiaa ajoneuvon liikuttamiseen.
2. Polttomoottoritila: Ajoneuvon liikuttamiseen käytetään vain polttomoottoria.
3. Yhdistetty tila: Ajoneuvon liikuttamiseen käytetään sekä poltto- että sähkömoottoreita.
4. Jaetun tehon tila: Polttomoottorilla tuotettua energiaa käytetään sekä ajoneuvon liikuttamiseen että akuston lataamiseen käyttämällä sähkömoottoreita generaattoreina.
5. Lataus pysähtyneenä: Ajoneuvo on pysähtyneenä ja akustoa ladataan käyttämällä polttomoottoria ja sähkömoottoreita generaattoreina.
6. Jarrutusenergian talteenotto: Ajoneuvon jarruttamisen yhteydessä sähkömoottoreita käytetään generaattoreina, joiden tuottamalla sähköenergialla ladataan akustoa.

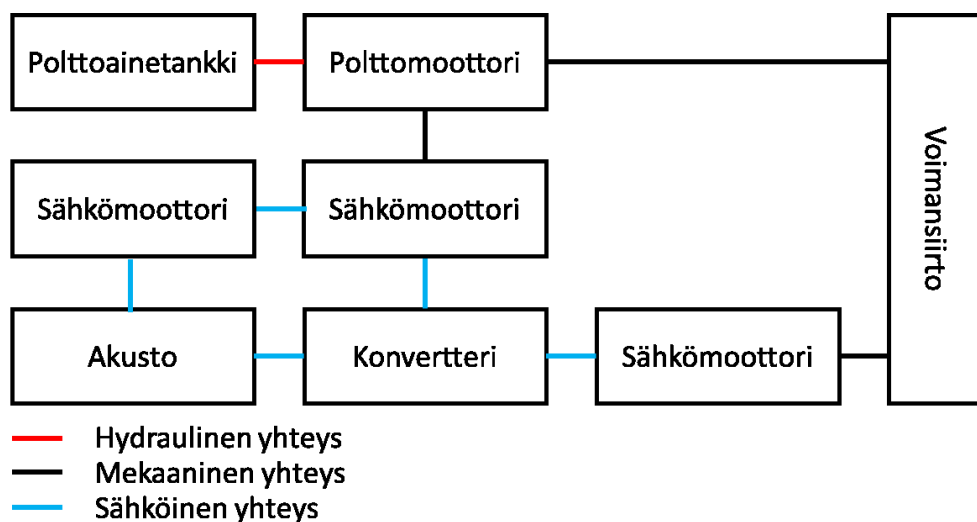
3.1.3. Sarja-rinnakkais- ja jaetun tehon hybridi

Sarja-rinnakkaishybridit hyödyntävät sekä sarja- että rinnakkaishybridien ominaisuuksia. Sarja-rinnakkaishybridissä on ylimääräinen mekaaninen yhteys polttomoottorilta voimansiirrolle verrattuna sarjahybridiin sekä ylimääräinen generaattori verrattuna rinnakkaishybridiin. Sarja-rinnakkaishybridissä tehonvirtaus on yksisuuntaista ja sähkömoottori toimii ainoastaan generaattorina. [35, s. 260–261] Sarja-rinnakkaishybridin periaatteellinen rakennekuva on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10: Sarja-rinnakkaishybridin rakennekuva [1, s. 121; 34; 35]

Jaetun tehon hybridissä polttomoottori ja sähkökone on kytketty toisiinsa erillisen tehonjakolaitteen, kuten planeettavaihteiston avulla. Suurin ero sarja-rinnakkais- ja jaetun tehon hybridin välillä on, että jaetun tehon hybridissä sähkömoottori voi toimia sekä moottorina että generaattorina. Jaetun tehon hybridijärjestelmän käyttö tarjoaa lisää joustavuutta ja mahdollisuuksia ajoneuvon toimintatiloille, mutta samalla järjestelmän monimutkaisuus ja kustannukset lisääntyvät. [35, s. 260–261] Jaetun tehon hybridin periaatteellinen rakennekuva on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11: Jaetun tehon hybridin rakennekuva [1, s. 121; 34; 35]

3.2. Toimintaympäristö

Vaikka hybriditeknologian hyödyntämisellä on todistetuksi etuja, kuten pieni polttoaineen kulutus, on saavutettavien hyötyjen arviointi vaikeampaa sotilas- kuin siviilisovelluksissa. Esimerkiksi sotilasajoneuvolla on pystyttävä ajamaan 60 % nousua ja pehmeällä maalla, kuten suolla. [6, s. 372; 15, s. 6-24] Nämä vaatimukset saattavat aiheuttaa haasteita, joiden ratkaiseminen vähentää hybriditeknologian käytöstä saatavia hyötyjä. Lisäksi on vaikea arvioida, millainen on hybriditeknologian luotettavuus ja huollettavuus ajoneuvon elinkaaren aikana. [6, s. 372]

Sotilassovellukset asettavat tiettyjä vaatimuksia myös hybridijärjestelmän akustolle. Verrattuna siviilisovelluksiin, joissa toimintaympäristönä on melko stabiili tieverkosto, sotilassovelluksissa akusto joutuu alttiiksi suuremmille lämpötilojen vaihtelulle, tärinälle ja iskuille [36]. Tarkasteltaessa esimerkiksi suomalaista toimintaympäristöä lämpötilat, joissa panssaroitujen ajoneuvojen tulee toimia, vaihtelevat -50–25 celsiusasteen välillä [37]. Vuodesta 1961 lähtien pidetyn tilaston mukaan kylmimmillään Suomessa on ollut -51,5 ja lämpimimmillään 37,2 celsiusastetta [38]. Sotilassovelluksissa akustolta vaaditaan myös suurempaa tehoa, ja sillä on suurempi todennäköisyys tuhoutua tai vaurioitua kuin siviilisovelluksissa [36]. Toimintaympäristön vaativuus pätee luonnollisesti myös muihin hybridijärjestelmän komponentteihin, kuten sähkömoottoreihin ja konverttereihin.

Hybridijärjestelmän komponentteihin kohdistuvien korkeampien vaatimuksien lisäksi toimintaympäristöjen ero vaikuttaa siihen, miten hybridijärjestelmä optimoidaan, ja miten sen käytöllä saavutettavia polttoainesäästöjä arvioidaan. Sotilasajoneuvoille ei ole olemassa standardoitua mittautustapaa (drive cycle, driving cycle), jolla ajoneuvon polttoainetehokkuutta voidaan arvioida [6]. Mittautustapa on sarja erilaisia ajotilanteita, kuten kiihdytys, jarrutus ja tyhjäkäynti [6]. Sotilasajoneuvoille on vaikea määrittää mittautustapaa, koska niiden toimintaympäristö vaihtelee suuresti [6; 36].

3.3. Saavutettavat hyödyt

Hybridijärjestelmien käyttö tarjoaa useita mahdollisuuksia myös sotilassovelluksissa toimintaympäristön eroista huolimatta. Tällaisia ovat esimerkiksi polttoainetehokkuuden parantuminen, sähköntuotanto ajoneuvossa, parantunut kiihtyvyyys, mahdollisuus hiljaiseen toimintaan sekä suunnittelun joustavuus. [8, s. 1–2; 15, s. 22; 39, s. 557] Saavutettavissa hyödyissä on eroja vaihdellen käytettävän hybridijärjestelmän rakenteen mukaan [5, s. 25]. Tässä alaluvussa käsitellään aikaisemman tutkimuksen perusteella hybridijärjestelmien käytöllä havaittuja hyötyjä panssaroiduissa ajoneuvoissa. Hyödyt on luokiteltu edellisessä pääluvussa käsiteltyjen taktisten

suorituskykyvaatimusten mukaisesti. Näitä ovat liikkuvuus, johtaminen, tulivoima, taistelunkesto ja logistiikka [27, s. 33–35].

3.3.1. Liikkuvuus

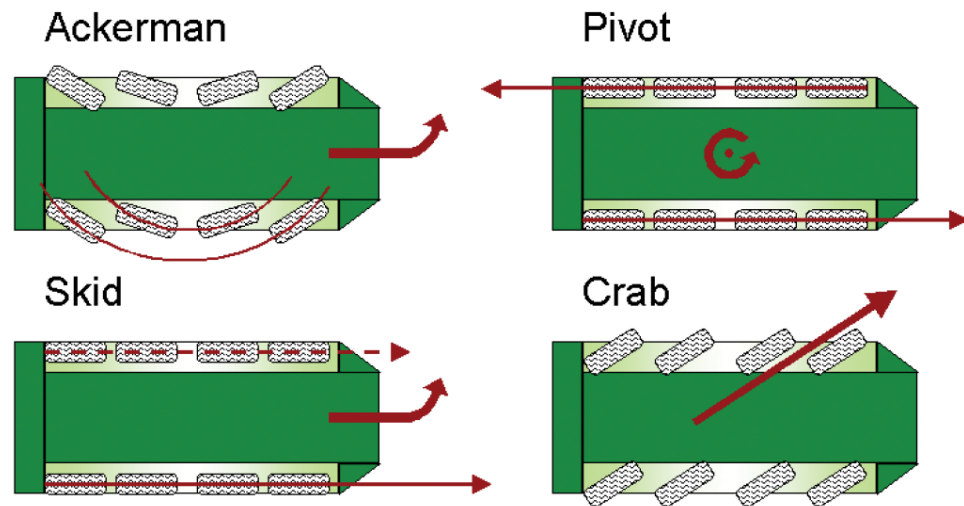
Liikkuvuus voidaan yhden näkemyksen mukaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: strategiseen, operatiiviseen ja taktiseen liikkuvuuteen. Strategisella liikkuvuudella tarkoitetaan esimerkiksi yhdysvaltalaisen määritelmän mukaan kykyä siirtää ajoneuvo operaatioalueelle. Operatiivisella liikkuvuudella tarkoitetaan ajoneuvon kykyä liikkua omalla voimallaan eri nopeuksilla. Taktinen liikkuvuus tarkoittaa ajoneuvon kykyä liikkua erilaisissa maastoissa ja ylittää esteitä, kuten oja ja puroja. Hybriditeknologian käytöllä on mahdollista parantaa etenkin panssaroidun pyöräajoneuvon operatiivista ja taktista liikkuvuutta. [40, s. 39-5]

Ajoneuvon operatiivista liikkuvuutta on mahdollista parantaa pienentämällä ajoneuvon polttoaineenkulutusta. Polttoainetehokkuuden parantuminen on seurausta polttomoottorin optimoinnista toimimaan täysin tai hyvin lähellä sen tehokkainta hyötysuhdetta. Tämä on seurausta siitä, ettei polttomoottorin kierrosnopeus riipu ajoneuvon nopeudesta. [1; 15; 34] Lisäksi hybridivoimansiirtoa käytettäessä polttomoottorin tehoa käytetään lähinnä tasaisessa ajossa, jolloin liikkeeseen käytetään mahdollisimman vähän polttoainetta. Muuttuvissa ajotilanteissa käytetään lähinnä energiavaraston, kuten akuston, energiaa, jota lisätään niin jarrutusenergian talteenotolla kuin hybridijärjestelmän generaattorilla. Tämä vähentää polttoaineen kulutusta merkittävästi ja pienentää sekä pakokaasupäästöjä että lämpöherätettä. [15, s. 1-3]

Polttoainetehokkuuden parantumista on simuloitu ja testattu kenttäkokeilla esimerkiksi Naton AECV-tutkimuksessa. Simulaatioiden perusteella polttoainesäästö on todettu olevan dieselgeneraattorin tapauksessa tyypillisesti 25 %. Käytettäessä polttokennoa ajoneuvon ensisijaisena voimalähteenä säästö perinteiseen ajoneuvoon verrattuna oli noin 47 %. [15, s. 5-30] Kenttätesteissä käytettiin kahta hybridiksi muutettua HMMWV-ajoneuvoa. Molempien ajoneuvojen osalta todettiin polttoaineen kulutuksen olevan pienempi hybridiajoneuvossa verrattuna vastaavaan perinteiseen ajoneuvoon. [15, s. 7-5–7-10] HMMWV:n tapauksessa polttoaineen kulutus voi olla 7–68 % pienempi verrattuna perinteiseen ajoneuvoon. Raskaampien ajoneuvojen tapauksessa polttoainesäästö ei kuitenkaan ole näin suurta, vaikka myös niissä etenkin sarjahybridijärjestelmien käytöllä voidaan saada säästöä aikaan. [6, s. 379; 11, s. 16]

Ajoneuvon taktista liikkuvuutta voidaan parantaa napamoottoreiden käytöllä. Niitä hyödyntämällä jokaisen renkaan pitoa voidaan kontrolloida paremmin, jolloin ajoneuvon liikkuvuus voi parantua. [5, s. 27] Tämä mahdollistaa esimerkiksi pivot-käännökset ja ”luisto-ohjaamisen” (skid steer) [5, s. 27; 14, s. 261; 15, s. 7-13]. Myös rapuohjaustilan käyttö on mahdollista

ajoneuvossa, jonka vetävät pyörät on varustettu napamoottoreilla. Nämä parantavat ajoneuvon liikkuvuutta etenkin vaikeissa maasto-olosuhteissa ja asutuskeskuksissa. [14, s. 261] Ajoneuvon kääntösäteen pienentäminen on mahdollista edellä mainittujen ohjaustilojen lisäksi niin sanotulla kaksoisohjauksella, jossa hyödynnetään luisto-ohjausta ja perinteisempää Ackerman-ohjausta [15, s. 2-8]. Kuvassa 12 on havainnollistettu tässä kappaleessa esitettyjä ohjaustiloja.



Kuva 12: Ohjaustilat [14, s. 261]

Hybriditeknologian käytöllä, uusien ohjaustilojen lisäksi, ajoneuvon taktista liikkuvuutta voidaan parantaa myös parantuneen kiihtyvyyden avulla. Perinteiseen, polttomoottorikäyttöiseen ajoneuvoon verrattuna hybridiajoneuvo tarjoaa paremman kiihtyvyyden, koska hybridijärjestelmä antaa suuremman huipputehon [15, s. 5-30]. Lisäksi parantuneeseen kiihtyvyyteen vaikuttaa sähkömoottorien ominaisuus antaa huippuvääntö nolllanopeuksista lähtien [33, s. 3]. Esimerkiksi saksalainen teknologiayritys Jenoptik kertoo raportissaan 8x8-alustaiselle yrityksen rinnakkaishybridijärjestelmää käyttävälle ajoneuvolle tehdyistä simulaatioista, joissa esimerkiksi kiihtyvyyden todettiin parantuvan noin 25 % [41, s. 1, 8]. Yrityksen mukaan simulaation tulokset varmennettiin Piranha 5 -ajoneuvon testeillä, joissa kiihtyvyys parantui 27–30 % [41, s. 8].

3.3.2. Johtaminen, tulivoima ja taistelunkesto

Hybridijärjestelmän käyttö panssaroidussa pyöräajoneuvossa voi tarjota suojaa muun muassa vaikeuttamalla ajoneuvon havaitsemista. Ajoneuvon akuston ollessa riittävän suuri on siihen varastoidulla sähköllä mahdollisuus käyttää ajoneuvon järjestelmiä, kuten johtamis- ja sensorijärjestelmiä, ilman polttomoottorin käyttämistä (silent watch). Käytettävien järjestelmien mukaan hiljaisen toiminnan tehtäviä voidaan hoitaa muutamia tunteja, mikä on huomattavasti enemmän kuin nykyisissä ajoneuvoissa. [15, s. 1-4] Muun muassa ajoneuvon sähköjärjestelmien käyttöä hybridijärjestelmän akustolla tarkastelleessa tutkimuksessa havaittiin, että noin 9

kWh:n akustoa käyttävän rinnakkaishybridiajoneuvon sähköjärjestelmiä oli mahdollista käyttää noin 0,7–1,5 tuntia [42, s. 4]. Tarkastelussa käytettiin 3,75 kWh:n ja 7,5 kWh:n kuormia -20–40 celsiusasteessa [42, s. 4].

Silent watch -kyvyn lisäksi ajoneuvoa on mahdollista liikuttaa rajoitettu matka pelkällä sähköllä (silent movement), mikä mahdollistaa ajoneuvon liikkumisen vihamielisellä alueella pienemmällä havaituksi tulemisen riskillä. [15, s. 1-4] Ajoneuvon liikuttaminen pelkällä sähköllä pienentää ääniherätteen lisäksi ajoneuvon lämpöherätettä, mikä osaltaan parantaa ajoneuvon suojaa ja kykyä suorittaa esimerkiksi tiedustelutehtävää vihollisalueella [8, s. 2].

Ajoneuvon havaittavuuden ohella hybridijärjestelmä mahdollistaa suuremman sähköntuotannon ja varastointikapasiteetin verrattuna polttomoottorikäyttöiseen ajoneuvoon. Päävoimantuotto- ja jakelujärjestelmä on mahdollista suunnitella siten, että se kykenee tuottamaan riittävästi sähköä kaikille ajoneuvon järjestelmille. Tämä mahdollistaneet tulevaisuudessa esimerkiksi sähkömagneettinen panssaroinnin ja sähköisten aseiden käytön ajoneuvoissa. [6, s. 381; 15, s. 1-3] Sähkömagneettinen panssarointi nähdään tulevaisuudessa mahdollisena vaihtoehtona reaktiivipanssaroinnille [43, s. 399].

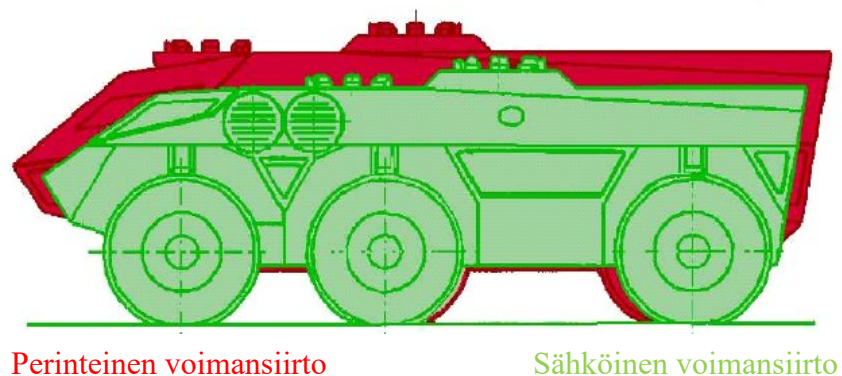
Sähköisten aseiden katsotaan parantavat asejärjestelmien suorituskykyä merkittävästi, koska periaatteessa niissä ei ole perinteisten aseiden teknisiä rajoituksia [15, s. 4-1; 44, s. 456]. Tällaisia aseita ovat muun muassa sähkötermiskemialliset (Electrothermal-Chemical, ETC), sähkömagneettiset (raidetykki ja käämiase) ja laseraseet [15, s. 4-1–4-3]. Sähkötermiskemiallisilla aseilla on tekniikkaa kehittäneen BAE Systems'n mukaan mahdollista saavuttaa perinteisiä aseita parempi tarkkuus ja kantama korvaamalla nallisytytys plasmaa hyödyntävällä sytytyksellä [44, s. 456]. Ajoneuvoon asennettavissa olevia laseraseita voidaan hyödyntää esimerkiksi lennokki- ja optisten järjestelmien vahingoittamisessa tai tuhoamisessa [45, s. 20745–20748]. Tulivoiman kasvattamisen ohella kasvaneen sähkökapasiteetin avulla on mahdollista hyödyntää esimerkiksi laseria käyttäviä tiedonsiirtojärjestelmiä, jotka ovat perinteisiä radiotaajuuksia hyödyntäviä järjestelmiä vaikeammin havaittavissa ja häiritävissä [45, s. 20742–20745].

3.3.3. Logistiikka

Sarjahybridissä käytettävä sähköinen voimansiirto koostuu modulaarisista komponenteista, jotka on yhdistetty kaapeloinnilla. Näin ajoneuvosuunnittelijoilla on mahdollisuus joustavampaan suunnitteluun. Perinteisen mekaanisen voimansiirron, joka vaatii polttomoottorin yhdistämistä vaihteiston ja jäykkien akselien avulla vetopyöriin, sijaan ajoneuvo on mahdollista suunnitella siten, että ajoneuvon tila käytetään optimaalisesti hyväksi. [15, s. 1-4]

Etenkin sarjahybridin käyttäminen mahdollistaa voimansiirron yksinkertaistamisen ja sähkömoottoreiden sijoittaminen pyörän napoihin, mikä voi parantaa ajoneuvon luotettavuutta. Koska vetävät moottorit on sijoitettu pyörän napoihin, ei ajoneuvossa ole tarvetta vetoakseleille, minkä ansiosta erilaisten jousitusratkaisuiden, kuten trailing arm, käyttö on mahdollista. Myös edellä mainittujen ohjaustilojen, kuten luisto-ohjaamisen, hyödyntämisellä voidaan lisätä ajoneuvon sisätiloja, koska ajoneuvon ohjaaminen on mahdollista pienemmillä ohjauskulmilla [15, s. 3-9-3-10]. Nämä ratkaisut voivat viedä vähemmän tilaa ajoneuvon alustasta ja tämän seurauksena tilaa ajoneuvon sisällä voidaan kasvattaa. Tämän lisäksi kookkaiden, mekaanisten komponenttien välttäminen voi myös vähentää logistista taakkaa. [5, s. 27]

Edellä mainittujen ratkaisujen ansiosta yksinkertaistunut ajoneuvon alustarakenne tarjoaa mahdollisuuksia etenkin pyöräajoneuvoissa. Samalla, kun ajoneuvon sisätiloja on mahdollisuus kasvattaa, voidaan ajoneuvon ulkomittoja pienentää. Ajoneuvon pituutta ja korkeutta on mahdollista pienentää, mikä pienentää myös ajoneuvon siluettia. Pienentyneiden ulkomittojen seurauksena myös ajoneuvon massaa voidaan vähentää noin 10 prosentilla. Tämä mahdollistaa esimerkiksi panssaroinnin parantamisen. [15, s. 7-12-7-13] Tässä on kuitenkin huomioitava akuston painon vaikutus ajoneuvon kokonaismassaa, jota käsitellään myöhemmin tässä raportissa. Naton AECV-raportissa on havainnollistettu ajoneuvon ulkomittojen pienentymistä kuvan 13 mukaisesti.



Kuva 13: Ajoneuvon siluetin pienentyminen [15, s. 7-13]

3.4. Tekniset haasteet

Hybriditeknologian hyödyntämisessä sotilassovelluksissa on vielä teknisiä haasteita, joiden takia järjestelmistä ei saada täyttä hyötyä. Tällaisia ovat muun muassa sähkökomponenttien toimintalämpötilan alhaisuus, akku- ja sähkömoottoritekniikan rajoitteet. [15, s. 1-4]

3.4.1. Sähkökomponentit

Nykyiset puolijohteet toimivat suhteellisen matalassa lämpötilassa. Esimerkiksi piipohjainen bipolaaritransistorikytkin (IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor) toimii korkeintaan 125 °C

lämpötilassa. Tämä asettaa haasteita jäähdytysjärjestelmälle ja vaikeuttaa toimintaa lämpimissä olosuhteissa. Tästä syystä jäähdytysjärjestelmä ja sen tehovaatimus on liian suuri, jotta sen voisi asentaa ajoneuvoon. Piikarbidien käyttö transistoreissa mahdollistaa kuitenkin noin 500 °C toimintalämpötilan. Naton AECV-raportissa todetaan vuonna 2004 piikarbiditransistorien kehityksen olevan riittävällä tasolla vuonna 2009. [15, s. 1-4] Kuitenkaan näin ei ole käynyt, vaikka kehitys on jatkunut lupaavana [46]. Siviilisovelluksissa esimerkiksi Tesla on tästä huolimatta alkanut käyttää täysin piikarbiditransistoreja hyödyntäviä vaihtosuuntaajia Model 3 -mallissa [47, s. 10].

3.4.2. Energian varastointi ajoneuvossa

Hybridijärjestelmän keskeisiä osia on energian varastointi. Tähän tehtävään on tavallisesti käytetty akkuja, vauhtipyöriä ja ultrakondensaattoreita. Pääsääntöisesti käytössä on kuitenkin akusto, koska niihin saadaan varastoitua paljon energiaa ja niiden hinta on alhainen. Perinteinen lyijyakku ei kuitenkaan pysty tarjoamaan riittävää suorituskykyä, joten hybridijärjestelmien akustoissa on käytettävä esimerkiksi litiumioni- tai nikkelimetallihydridiakkuja. [15, s. 1-5] Litiumioniakkujen käyttöä ajoneuvojen akustoissa pidetään yleisesti hyväksyttynä ratkaisuna, koska ne tarjoavat korkean energiamassasuhteen ja hyvän tehokkuuden [48].

Litiumioniakkujen energiatiheys on tavallisesti 100–150 Wh/kg, mutta energiatihedeltään 260 Wh/kg:n akkuja on markkinoilla [49, s. 2420; 50, s. 6; 51, s. 20]. Lyijyakkujen energiatiheys on huomattavasti litiumioniakkuja heikompi, 30–50 Wh/kg. Nikkelimetallihydridiakkujen energiatiheys on hieman lyijyakkuja parempi, noin 50–100 Wh/kg. [52, s. 1–2]

Akuissa, joilla on parempi energiatiheys kuin lyijyakuilla, on ominaisuuksia, jotka voivat aiheuttaa haasteita sotilassovelluksissa. Esimerkiksi litiumioniakut kestävät huonosti iskuja, mikä voi johtaa lämpökarkaamiseen ja tulipaloon [15, s. 1-5; 48; 51, s. 20]. Lisäksi litiumioniakkujen käyttö asettaa vaatimuksia ajoneuvon säilytykselle, koska ne ikääntyvät helposti myös käyttämättöminä [33, s. 15]. Litiumioniakkujen säilyttäminen viileässä ja 40 % latauksessa vähentää ikääntymisvaikutuksia [33, s. 15]. Nikkelimetallihydridiakut taas purkavat varauksensa nopeasti itseksensä [15, s. 1-5].

Edellä mainittujen akkujen ohella sotilassovelluksissa käyttöön voisivat soveltua natriumnikkelikloridi- (ZEBRA™) tai litiummetallipolymeeriakku. ZEBRA™-akkujen energiatiheys on verrattavissa litiumioniakkuihin (120–125 Wh/kg), mutta ongelmana niissä on pieni tehotiheys verrattuna litiumioniakkuihin, litiummetallipolymeeriakut taas ovat hyvin uutta tekniikkaa [15, s. 1-5; 51, s. 27, 30]. ZEBRA™-akkujen hyötyinä energiatihedden lisäksi on litiumioniakkuja parempi turvallisuus ja halvempi hinta [51, s. 30]. Litiummetallipolymeeriakkujen hyötyjä ovat

muun muassa hyvä varauksen säilyvyys, jolloin niitä ei tarvitse ladata säilytyksen aikana usein, ja litiumioniakkuja parempi energiatiheys (jopa 350 Wh/kg) [51, s. 28].

Energian varastoinnissa voidaan myös hyödyntää eräänlaista hybriditeknologiaa, jossa yhdistetään esimerkiksi litiumioniakut ja superkondensaattorit. Tällaisen hybridiennergianvarastointijärjestelmän (hybrid energy storage system, HESS) sopivan mitoittamisen ja ohjausjärjestelmän avulla voi olla mahdollista vähentää elinkaarikustannuksia ja energianvarastointijärjestelmän painoa samalla parantaen ajoneuvon polttoainetehokkuutta. Aiheesta tehdyn simulaatioon perustuvan tutkimuksen mukaan superkondensaattorien käyttäminen yksistään hybridiajoneuvon energian varastoinnissa voi myös tarjota vastaavia hyötyjä. [53] HESS-järjestelmien ohella akkuteknologioiden turvallisuus- ja kestävyysaasteisiin sotilassovelluksissa pyritään vastaamaan esimerkiksi Ruotsin puolustusvoimien tutkimuslaitoksen tutkimuksessa, jossa selvitetään etenkin litiumioniakkujen käyttäytymistä törmäyksissä ja tilanteissa, joissa akustoa ammutaan [54].

3.4.3. Sähkömoottorit

Ajoneuvon liikuttamiseen käytettävien sähkömoottoreiden on oltava vääntö-nopeuskäyrältään soveltuvia sotilasajoneuvoihin. Haasteena on käyttää sähkömoottoreita, jotka vastaavat tehon tarvetta, ja jotka on mahdollista integroida ajoneuvon runkoon tai pyörännapoihin. Jos moottorit sijoitetaan ajoneuvon runkoon, menetetään suunnittelu- ja modulaarisuus, koska voimansiirtoon pyörille on käytettävä vetoakseleita. Pyörännapoihin sijoitettavien moottorien tapauksessa tämä etu säilyy, mutta ajoneuvon liikkuvuuden kannalta jousittamaton massa tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Sähkömoottorien koko ja paino rajoittavat niiden käytettävyyttä. Lisäksi ne tarvitsevat jäähdytystä ja ovat AECV Study'n mukaan kalliita. [15, s. 1-6–1-7]

Etenkin napamoottorien tapauksessa jäähdytys on keskeisessä roolissa, koska moottorit on asennettu ajoneuvon pyörännapoihin. Esimerkiksi jarrutuksessa syntyvä lämpö johtuu siten myös napamoottoreihin, mikä aiheuttaa haasteita moottorin jäädyttämiselle. Vaikka napamoottorien kehitys on lupaavaa, ei niitä vielä valmisteta suuressa mittakaavassa ja niiden hinta on edelleen korkea. [55, s. 128–129] QinetiQ-yhtiön mukaan sen kehittämä napamoottoriratkaisu, jossa sähkömoottori, vaihteisto ja jarru on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi, vastaa perinteisten napamoottorien haasteisiin sotilassovelluksissa ja parantaa muun muassa ajoneuvon liikkuvuutta. QinetiQ on kehittänyt ratkaisuaan muun muassa Yhdysvaltain asevoimien tutkimusorganisaatio DARPA:n rahoituksella. [13]

3.5. Ajoneuvon käytölle muodostuvat haasteet

Hybridijärjestelmien käytöstä sotilassovelluksissa tehdyissä tutkimuksissa esitetyt haasteet painottuvat pääsääntöisesti teknisiin haasteisiin. Tästä syystä edellä käsiteltiin lähinnä ajoneuvon teknologiaan ja komponentteihin liittyviä haasteita, joita hybridijärjestelmien integroimisella

panssaroiuihin ajoneuvoihin voi olla. Tässä alaluvussa käsitellään aikaisemman tutkimuksen ja teknisten haasteiden perusteella ajoneuvon käyttäjälle mahdollisesti muodostuvia haasteita.

3.5.1. Liikkuvuus

Kuten edellä mainittiin, sijoitettaessa hybridijärjestelmän sähkömoottoreita ajoneuvon pyörän napoihin on haasteena jousittamattoman massan lisääntyminen. Ajoneuvoluokan mukaan sähkömoottorin integroiminen pyörän napaan tuo 50–300 kg lisää massaa jokaista pyörää kohden [15, s. 3-15]. Esimerkiksi QinetiQ'n kehittämän Hub Drive Unit -ratkaisun (HDU) kuivapaino on 234 kg (tavoite 225 kg) ja Market-Attractive Hub -ratkaisun (MAH) 180 kg [56, s. 8–9]. Jousittamattoman massan lisääntymisellä ei ole vaikutusta ajoneuvon käyttäytymiseen ajattaessa tiellä, mutta epätasaisessa maastossa ajattaessa ajoneuvon kallistukset pituussuunnassa ja renkaiden pystysuuntainen liike ovat suurempia jousittamattoman massan ollessa suurempi [15, s. 3-16].

Maastoajossa jousittamattoman massan kasvun vaikutukset ajoneuvon korin kiihtyvyyksiin riippuvat paljon esteestä, jonka ajoneuvo ylittää. Esimerkiksi Journal of Battlefield Technologyssa julkaistun David J. Purdyn ja Dave Simnerin artikkelin mukaan ajattaessa kuopan yli suurella nopeudella suuremmasta jousittamattomasta massasta on etua, koska rengas ikään kuin hyppää kuopan yli. Toisaalta hitaammalla nopeudella ajattaessa myös jousittamattoman massan tulee olla pienempi. Pienen seinämän (15 senttimetriä korkea este) ylityksen tapauksessa suurempi jousittamaton massa heikensi ajomukavuutta 15 m/s:n (54 km/h) nopeuteen asti. [57]

Jousittamattoman massan kasvun myötä ajoneuvon jousituksen on hajautettava enemmän energiaa ylitettäessä esteitä [15, s. 3-16]. Tämä todennäköisesti vaikuttaa edellä mainitulla tavalla ajoneuvon koriin ja renkaiden liikkeisiin. Korin epävakampi käytös voi tietyissä tilanteissa vaikeuttaa esimerkiksi ajoneuvon ase- tai sensorijärjestelmien käyttöä. Lisäksi ajoneuvon miehistöön saattaa kohdistua suurempia värinävaikutuksia kuin jousittamattoman massan ollessa pienempi [57, s. 15].

3.5.2. Johtaminen, tulivoima ja taistelunkesto

Sähkökomponenttien lisääminen panssaroiuun pyöräajoneuvoon voi lisätä ajoneuvon painoa, mikä voi heikentää ajoneuvon kantavuutta siten, että esimerkiksi ajoneuvon panssarointia on kevennettävä, asejärjestelmää on pienennettävä tai sensorijärjestelmiä on karsittava painon säästämiseksi. Etenkin sensorijärjestelmien ja panssaroinnin heikennykset vaikuttavat merkittävästi ajoneuvon käyttäjilleen tarjoamaan suojaan. Toisaalta hybriditeknologian käytöllä sotilasajoneuvoissa nähdään olevan mahdollisuus vähentää panssaroitua tilavuutta, koska hybridijärjestelmän käyttö mahdollistaa pienemmän voimapaketin (moottori ja voimansiirto) käytön

[33, s. 1]. Lisäksi, kuten aiemmin todettiin, yksinkertaisempi alustarakenne ja pienentyneet ajoneuvon ulkomitat mahdollistavat ajoneuvon massan pienentämisen [15, s. 7-13].

Suurimpana ajoneuvon käyttäjälle muodostuvana haasteena suojan ja tulivoiman osalta voidaan siis nähdä edellä käsitelty jousittamattoman massan kasvu. Ajoneuvon korin epävakaa käytös aiheuttaa haasteita esimerkiksi ammunnanhallinnalle, jonka tulee voida minimoimaan ajoneuvon korin liike ammuttaessa liikkeestä. Panssaroinnin vähentäminen tai asejärjestelmän pienentäminen ei edellä mainituitten syiden takia ole todennäköistä. Jousittamattoman massan kasvu voi aiheuttaa haasteita myös ajoneuvon taistelunkestolle, koska suurempi jousittamaton massa lisää ajoneuvon jousituksen kulumista [58, s. 1408].

3.5.3. Logistiikka

Logistiikan tarvetta on mahdollista vähentää etenkin polttoainehuollon osalta hybridijärjestelmien käytöllä. Kuitenkin hybridijärjestelmien käyttö ajoneuvossa vaatii ratkaisun, johon varastoida hybridijärjestelmän tarvitsema sähköenergia. Käytettäessä akustoja tämän energian varastoinnissa lisääntyy akkuhuollon merkitys ajoneuvojen käytössä. Esimerkiksi poikkeusoloissa vaurioituneita akkuja voidaan joutua vaihtamaan enemmän kuin perinteisen ajoneuvon tapauksessa. Myös ajoneuvon akkujen lisääntyminen tulee ottaa huomioon varastoitaessa ja säilytettäessä ajoneuvoa pitkiä aikoja. Teknisten haasteiden yhteydessä esitettiin haasteita, joita esimerkiksi litiumioniakkujen ominaisuudet tuottavat niiden säilytyksellä. Nämä haasteet aiheuttavat haasteita ajoneuvojen säilytyksen ohella myös varaosien säilytyksellä.

Hybridijärjestelmän akusto voi aiheuttaa haasteita myös ajoneuvon kuljetuskapasiteetille. Siitä huolimatta, että hybridijärjestelmän käytöllä voidaan pienentää ajoneuvon moottoria ja napamoottorien käytöllä jopa poistaa akselista ajoneuvosta, akustolta vaadittava energia- ja tehotehdydet voivat nostaa akuston koon niin suureksi, että ajoneuvon kantavuus pienenee. Esimerkiksi 100 kWh:n akuston massa vaihtelee noin 650–1000 kg, kun käytössä on energiatiheydeltään 100–150 Wh/kg litiumioniakkuja. Tällöin esimerkiksi ajoneuvon sähköjärjestelmiä, kuten sensori- ja johtamisjärjestelmiä, on mahdollista käyttää akustolla noin 10 tuntia.

4 TUTKIMUSAINEISTO JA TUTKIMUSTULOKSET

Kirjallisuusselvityksen lisäksi aineistokeruumenetelmänä käytettiin tässä tutkimuksessa kyselymenetelmää. Sillä kerättiin aineisto, jonka analyysin kautta mahdollistettiin vastaaminen tutkimuksen pääkysymykseen sekä neljänteen ja viidenteen alatutkimuskysymykseen. Kyselyllä pyrittiin selvittämään panssaroitujen ajoneuvojen asiantuntijoiden näkemyksiä hybriditeknologioiden tarjoamista hyödyistä ja haasteista puolustusvoimissa. Kyselyn toteuttamiseen käytettiin Google Forms -palvelua.

4.1. Kyselyaineiston kerääminen

Kyselyaineiston kerääminen alkoi keräystavan määrittämisellä ja mittareiden laatimisella. Käytössä ei ollut valmista mittausmallia, vaan se laadittiin kirjallisuusselvityksellä luodun teorian pohjalta. Aineiston keruumenetelmänä oli verkkokysely, jossa käytettiin sekä suljettuja että avoimia kysymyksiä. Suljettuja kysymyksiä käytettiin, koska niiden valmiit vastausvaihtoehdot selkeyttävät mittausta ja helpottavat tietojen käsittelyä [25, s. 25]. Avoimien kysymysten käytöllä taas on mahdollista saada selville asioita, jotka olisivat muuten voineet jäädä havaitsematta [25, s. 25].

Mittausmallin muodostaminen aloitettiin kirjallisuusselvityksessä esiintyneiden hybriditeknologioiden panssaroiduille ajoneuvoille tarjoamat hyötyjen muotoilulla kyvykkyyksiksi, jotka jaoteltiin viiteen taktisen suorituskyvyn osa-alueeseen, joita ovat johtaminen, tulivoima, liikkuvuus, taistelunkesto ja logistiikka [27, s. 33–35]. Esiintyneitä haasteita ei erikseen jaoteltu osa-alueisiin, vaan niiden osalta mittaus suunniteltiin toteutettavan yhtenä kokonaisuutena. Suunnitelmana oli mitata esiintyviä hyötyjä ja haasteista sekä normaali- että poikkeusolojen toimintaympäristössä erikseen ja suorittaa vertailua, aiheuttaako toimintaympäristö eroa hyötyjen merkityksissä tai haasteiden kriittisyydessä.

Mittausmallin luomisen yhteydessä valittiin kyselyssä käytettävä mittaustapa, jonka valinnassa vertailtiin erilaisten asteikkojen soveltuvuutta tutkimukseen. Toteutettu kysely oli pohjimmiltaan asennemittaus, joissa käytettävät asteikot mielletään kirjallisuudessa yleisesti järjestysasteikoiksi [25, s. 35]. Tällöin saadut havainnot voidaan asettaa järjestykseen ominaisuuden määrän perustella [59, s. 36]. Järjestysasteikoista yleisimmin käytössä on Likertin asteikko, mutta myös semanttista differentiaalia eli Osgoodin asteikkoa käytetään järjestysasteikon mittarina [25, s. 35; 59, s. 36].

Likertin asteikon käytön heikkoutena on, että sitä on syytä pitää vain järjestysasteikkona, koska eri vastausvaihtoehtojen välejä ei voida pitää samanmittaisina. Tällöin Likertin asteikolla kerätyn aineiston analysoimiselle on olemassa vain vähän soveltuvia tilastollisia menetelmiä. [25, s. 36–37] Osgoodin asteikko on myös asenneasteikko, jossa vastakkaiset adjektiivit rajaavat

asteikon ylä- ja ala-arvon, mutta väliportaille ei ole annettu sanallisia määritelmiä, joten vastaajalla on itse päätettävä asteikon numeroiden vastaavuus kysytyyn asiaan [60, s. 45, 47].

Toisin kuin Likertin asteikon tapauksessa voidaan Osgoodin asteikko mieltää näennäiseksi intervalliasteikoksi (quasi-interval scale), jolloin välimatka-asteikolle tyypillisesti suoritettavien tunnuslukujen, kuten keskiarvon laskeminen on perusteltua myös Osgoodin asteikkoa analysoidessa [61, s. 50]. Keskiarvojen laskeminen järjestysasteikoille on myös yleistä mielipidemittauksissa antamaan yleiskuvauksen tutkittavista asioista, vaikka jotkut asiantuntijat suhtautuvat tähän kriittisesti [62, s. 81].

Asteikon valinnan ohella määritettiin, kuinka moniportaista Osgoodin asteikkoa kyselyssä käytetään. Alkuperäisessä Osgoodin asteikossa käytössä oli seitsemänportainen asteikko, jolla kohdetta arvioitiin. Myöhemmin käytössä on ollut myös viisi-, kuusi- ja yhdeksänportaisia asteikkoja. Useammat vastausvaihtoehdot antavat vastaajille mahdollisuuden antaa tarkempia vastauksia, mutta tämä vaikeuttaa vastausvaihtoehtojen välisten erojen arviointia. Esimerkiksi käytettäessä yhdeksänportaista asteikkoa vastaajan voi olla vaikea valita vaihtoehtojen 7 ja 8 väliltä. [63] Yleisesti viisiportaista asteikkoa pidetään sopivana määränä käsiteltäväksi yhtä aikaa [25, s. 37]. Näistä syistä asteikoksi valittiin viisiportainen Osgoodin asteikko.

Normaaliolot	Poikkeusolot
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Taktisten suorituskykyjen tärkeysjärjestys <input type="checkbox"/> Johtaminen <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Tulivoima <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Liikkuvuus <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Taistelunkesto <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Logistiikka <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Haasteet	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Johtaminen <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Tulivoima <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Liikkuvuus <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Taistelunkesto <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Logistiikka <input type="checkbox"/> •Kyvykkyydet <input type="checkbox"/> Haasteet <input type="checkbox"/> Kyvykkyyksien kriittisyys

Kuva 14: Testilomakkeen rakenne

Esitestauksessa käytetyn kyselylomakkeen rakenne on esitetty kuvassa 14. Kyselyn aluksi karotettiin vastaajien taustamuuttujia, joiksi valittiin vastaajan henkilöstöryhmä ja hänen edustama organisaationsa. Varsinaisen aineiston keruun osalta taktisten suorituskykyjen osa-alueiden ja kyvykkyyksien mittaamiseen käytettiin suljettuja kysymyksiä. Ensimmäisessä osassa vastaajaa pyydettiin järjestämään taktisten suorituskykyjen osa-alueet tärkeysjärjestykseen. Asteikkona käytettiin viisiportaista Osgoodin asteikkoa, jossa ääripäät muodostivat adjektiivit

tärkein ja vähiten tärkeä. Toisessa osassa vastaajaa pyydettiin arvioimaan edellä mainittujen osa-alueiden mukaisesti luokiteltujen suorituskykyjen merkitystä. Asteikkona käytettiin viisi-portaista Osgoodin asteikkoa, jonka ääripäät muodostuivat adjektiiveista tarpeeton ja tärkeä. Lisäksi jokaisen osa-alueen yhteydessä oli mahdollisuus avoimeen vastaukseen. Kolmannessa osassa vastaajaa pyydettiin arvioimaan aiheutuvien haasteiden kriittisyyttä, kuten edellä. Tällöin Osgoodin asteikon ääripäät muodostivat adjektiivit ei-kriittinen ja kriittinen. Neljäs ja viides osa olivat vastaavat toisen ja kolmannen osan kanssa. Erona edellä mainittujen osien välillä oli toimintaympäristö, jonka pohjalta vastaajaa pyydettiin arvioimaan esitettyjä väittämiä. Kuudennessa osassa vastaajaa pyydettiin luokittelemaan esitetyt kyvykkyydet kolmeen luokkaan, jotka olivat kriittinen, ensisijainen ja toissijainen.

Kyselylomake esitestaus toteutettiin lähettämällä testilomake kymmenelle sotatieteiden maisterikurssi 8:lla opiskelleelle henkilölle, jotka ovat työskennelleet panssaroitujen ajoneuvojen parissa. Lomakkeen testaamisen tavoitteena oli saada palautetta lomakkeen toimivuudesta ja rakenteesta, kysymysten selkeydestä ja siitä, kuinka kauan vastaaminen keskimäärin kestää. Vastauksia testilomakkeeseen tuli yhteensä kuusi. Esitestauksessa esiintyneiden asioiden ja saadun palautteen perusteella kyselylomaketta muokattiin ennen varsinaisen kyselyn toteuttamista. Keskeisimpänä havaintona esitestauksen palautteessa oli se, että jaottelua normaali- ja poikkeusolojen välillä pidettiin tarpeettomana. Myös kyselyn pituutta pidettiin liiallisena, johon osaltaan vaikutti edellä mainittu jaottelu eri toimintaympäristöihin. Tästä syystä lopullisessa lomakkeessa käsiteltiin vain yleisesti panssaroidun pyöräajoneuvon käyttöä suomalaisessa toimintaympäristössä.

Palautteessa kyselyn rakennetta pidettiin pääsääntöisesti selkeänä, mutta esiin nostettiin testilomakkeessa ensimmäisenä olleen taktisten suorituskykyjen tärkeysjärjestyksen paikan siirtäminen lomakkeen loppuun. Tällöin vastaajan koettiin pystyvän muodostamaan paremman käsityksen itselleen taktisten suorituskykyjen järjestyksestä. Tämän takia rakenteeseen tehtiin palautteen perusteella edellä mainittu muutos. Lisäksi jokaisen suljetun kysymyksen yhteyteen lisättiin mahdollisuus avoimeen vastaukseen, jolloin vastaajalla oli mahdollisuus tarkentaa kantansa jokaisen kysymyksen kohdalla erikseen eikä osakokonaisuuksittain, kuten testilomakkeessa. Lopullisen kyselyn rakenne on esitetty kuvassa 15 ja kyselylomake kokonaisuudessaan kysymyksineen on esitetty liitteessä 1. Esitestauksessa kerätyn palautteen aineisto on tutkijan hallussa.

Pyörä-IFV

- Johtaminen
 - Kyvykkyydet
 - Tulivoima
- Liikkuvuus
 - Kyvykkyydet
 - Taistelunkesto
- Logistiikka
 - Kyvykkyydet
- Haasteet
- Kyvykkyyksien kriittisyys
- Taktisten suorituskykyjen tärkeysjärjestys

Kuva 15: Kyselylomakkeen rakenne

Tutkimuksen perusjoukoksi valittiin puolustusvoimien sotilashenkilöstöä heidän edustamansa organisaation perusteella siten, että heidän työtehtävänsä ja osaamisensa liittyvät panssaroituihin ajoneuvoihin. Kymen jääkäripataljoonan (KYMJP/KARPR), Satakunnan jääkäripataljoonan (SATJP/PORPR) ja Hämeen panssaripataljoonan (HÄMPSP/PSPR) henkilöstö valittiin kyselyn kohdehenkilöiksi, koska he kouluttavat panssaroiduilla ajoneuvoilla toimivia joukkoja ja ovat alan kärkiosaajia Suomessa. Maavoimien tutkimuskeskuksen panssarisektorin (MAAVT-KESK(MAASK)) ja Panssarikoulun (PSK/MAASK) henkilöstö valittiin tutkimukseen, koska he vastaavat panssaroitujen joukkojen tutkimuksesta ja kehittämisestä puolustusvoimissa. Maajärjestelmäosasto (MAAJÄRJOS/JÄRJJK) ja Maavoimien esikunnan huolto-osasto (HOS/MAAVE) valittiin tutkimukseen, koska niillä on keskeinen rooli joukkojen suorituskykyjen rakentamisessa ja hankkeissa.

Kyselytutkimuksen otantamenetelmänä käytettiin yksivaiheista ryväsotantaa, jossa käytettiin hyödyksi perusjoukkoon kuuluvien organisaatioita edellä mainitun mukaisesti. Ryväsotannan käyttö on perusteltua, koska aineistonkeruu on nopeaa ja yhdellä kertaa tavoitetaan useita koehenkilöitä [59, s. 27]. Varsinainen kyselylomake lähetettiin yhteensä 245 henkilölle puolustusvoimien sähköpostipalvelulla.

Saatujen vastausten pohjalta muodostettiin aineisto, jolle tehtiin esikäsittely ennen varsinaista aineiston analysoimista. Tällä pyrittiin luomaan pohja varsinaiselle aineiston analyysille ja löytämään aineistosta mahdollisia virheitä, joilla on vaikutusta analyysin luotettavuuteen [25, s. 51]. Esikäsittelyn aluksi selvitettiin taustakysymysten avulla organisaatioittain vastausten määrä, joka on esitetty taulukossa 2. Lisäksi selvitettiin henkilöstöryhmittäin vastausten jakauma. Taustakysymysten vastaukset myös koodattiin aakkosjärjestyksen mukaisesti

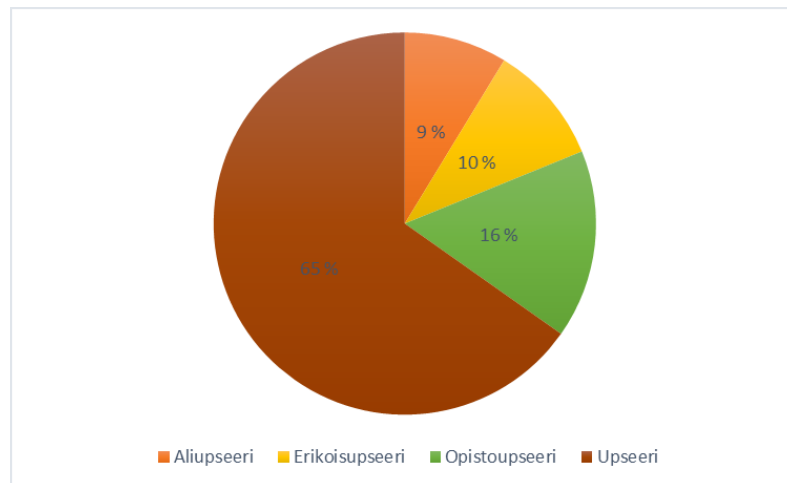
numeraaliseen muotoon, jossa ensimmäisenä aakkosissa ollut organisaatio ja henkilöstöryhmä saivat numeron yksi, toisena olleet numeron kaksi ja niin edelleen.

Taulukko 2: Otoksena olleet organisaatiot ja vastausprosentit

Organisaatio	Lähetetyt kyselyt	Saadut vastaukset	Vastausprosentti
MAAJÄRJOS/JÄRJJK	11	3	27 %
KYMJP/KARPR	65	17	26 %
MAAVTKESK/MAASK	6	2	33 %
PSK/MAASK	22	12	55 %
HOS/MAAVE	30	15	50 %
SATJP/PORPR	65	8	12 %
HÄMPSP/PSPR	46	12	26 %
Yhteensä:	245	69	28 %

Kyselyitä ei lähetetty kaikille mainituissa organisaatioissa työskennelleille, vaan perusjoukkoon kuuluvat pyrittiin valitsemaan siten, että vastaajiksi valikoituu henkilöitä, joilla on kompetenssia vastata esitettyihin kysymyksiin. Lähetysmäärät eroavat organisaatioiden koon lisäksi edellä mainitun karsinnan takia. Perusjoukko rajattiin siten, että kyselyä ei lähetetty siviileille eikä sopimussotilaille. Sotilashenkilöstöstä kysely lähetettiin kaikille henkilöstöryhmille, mikä mahdollistaa tulosten vertaamisen vastaajien henkilöstöryhmään ja edustavan perusjoukon verrattuna esimerkiksi otokseen pelkistä upseerien näkemyksistä.

Koko kyselyn vastausprosentti oli 28 %, kuten taulukosta 2 selviää. Vastausprosentti on melko normaali verkkokyselylle [23, s. 196]. Tästä huolimatta vastauskato aiheuttaa vääristymää saatuihin tuloksiin. Yksi vastauskatoa selittävä tekijä lienee kyselyn toteuttamisen ajankohta, joka oli 5.10.–14.12.2018. Haastavan aikavälistä tekee se, että sille sijoittuu paljon sotilaallisia harjoituksia. Suurin osa kyselyyn valituista henkilöistä on tällöin pois työpisteeltään harjoituksissa, valmistelemissa tulevia tai purkamassa päättyviä harjoituksia. Tämä vaikuttaa etenkin Karjalan ja Porin prikaatin sekä Panssariprikaatin henkilöstön vastausprosentteihin, mikä voi aiheuttaa mittausvirhettä saatuihin tuloksiin. Alkuperäinen vastausaika oli 5.10.–30.11.2018. Vastausaikaa jatkettiin muistutusviestin lähetyksen yhteydessä 14.12.2018 asti. Tällä pyrittiin parantamaan kyselyn vastausprosenttia.



Kaavio 1: Vastaajat henkilöstöryhmittäin (n=69)

Kaaviossa 1 esitetään vastausten prosenttijakauma henkilöstöryhmittäin. Vastausten jakautuminen henkilöstöryhmien mukaisesti vastaa melko hyvin puolustusvoimien sotilashenkilöstön henkilöstöryhmäjakaumaa [64, s. 8]. Suurin poikkeavuus edellä mainittuun jakaumaan oli aliupseeriston vastausten suhteellisen pieni määrä ja vastaavasti upseeriston vastausten suhteellisen suuri määrä. Aliupseeriston vastausten osalta vastauskato selittynee aiemmin mainitulla ajankohdan vaikutuksella. Upseerien vastausten suuri suhteellinen määrä voi olla seurausta kyselyn lähettämisestä asiantuntijaorganisaatioille, joissa on pienempi määrä aliupseeristoa kuin puolustusvoimien organisaatiossa keskimäärin.

Vastauskadon aiheuttaman vääristymän lisäksi mittauksen luotettavuuteen vaikuttaa luodun mittarin hyvyys. Mittarin hyvyttä on haastavaa arvioida, koska mittari luotiin tätä kyseistä tutkimusta varten eikä sitä ole tämän tutkimuksen puitteissa mahdollisuutta toistaa luotettavuuden testaamiseksi. Myös osa mitattavista käsitteistä aiheuttaa mittausvirhettä. Näitä mittausvirheitä pyrittiin minimoimaan kyselylomakkeen esitestauksella, mutta on syytä olettaa, että ne vaikuttavat myös kerätyn aineiston luotettavuuteen.

Järjestysasteikollisissa mitta-asteikoissa, kuten Osgoodin asteikko, keskiarvon käyttäminen voi aiheuttaa harhaisia tuloksia [59, s. 36]. Tämän aiheuttaa esimerkiksi havaintoaineiston jakauman vinous tai sen sisältämät suuret ja pienet arvot, jotka vääristävät keskiarvoa herkästi [25, s. 56]. Tästä syystä keskiarvon käytettävyyttä arvioitiin aineiston keskilukuna. Tämä tehtiin aineiston esikäsittelyn yhteydessä laskemalla aineiston suljettujen kysymysten vastauksille tilastollisia tunnuslukuja ja vertaamalla vastausten keskiarvoja ja mediaaneja toisiinsa. Lisäksi jakaumien vinoutta arvioitiin laskemalla havaintoaineiston perusteella vinoutta kuvaava tunnusluku c_1 kaavan 1.1 mukaisesti. Kaavassa m_2 ja m_3 ovat havaintoarvojen 2. ja 3. keskusmomentti. Keskusmomenttien laskukaavat on esitetty liitteessä 2. Vinouden keskivirhe laskettiin kaavan 1.2 mukaisesti. Kaavassa n on vastausten lukumäärä. Tämän ohella vinoutta arvioitiin

vinouden tunnusluvun ja sen keskivirheen suhteen avulla. Vastausten vinoudelle lasketut arvot on esitetty liitteessä 2.

$$c_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}} \quad (1.1) \text{ [65, s. 8]}$$

$$SES = \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}} \quad (1.2) \text{ [66, s. 11]}$$

Kyvykkyyksien kriittisyyden määrittämien kyselyssä on käytännössä luokittelua. Tämän osion osalta esikäsitellyssä koodattiin vastausvaihtoehtoina olleet sanat kriittinen, ensisijainen ja toisijainen luvuilla 3–1. Koodauksen jälkeen tarkastettiin, ettei koodauksen yhteydessä ole sattunut virheitä varmistamalla, että koodatun aineiston pienin ja suurin arvo vastaavat määritettyjä lukuarvoja eli yhtä ja kolmea. Tunnuslukuja luokittelutason muuttujille ei laskettu, koska esimerkiksi keskiarvo tai mediaani eivät sovellu luokittelutason muuttujien tunnusluvuiksi [25, s. 57]. Taktisen suorituskyvyn osa-alueiden tärkeysjärjestystä mittaavan osion esikäsitellyssä vastausten asteikko käännettiin siten, että arvosta 1 tuli arvo 5, arvosta 2 arvo 4 ja niin edelleen. Lisäksi varmistettiin, ettei tallennuksen yhteydessä aineistoon ole tullut virheellisiä arvoja. Tämä tehtiin tarkastelemalla jokaisen kysymyksen minimi- ja maksimiarvoja.

4.2. Analyysimenetelmä

Esikäsitellyn havaintojen perusteella kerättyä aineistoa analysoitiin järjestysasteikollisille mittareille soveltuvilla tilastollisilla menetelmillä. Vastausten jakaumien tarkastelussa havaittiin, että osa jakaumista on vinoutuneita ja keskiarvot poikkeavat mediaaneista. Tästä syystä vastausten keskiarvoon perustuvien tilastollisten analyysien käyttö ei ole mielekäästä kaikkien kysymysten tapauksessa. Tunnuslukujen laskennassa ja aineiston käsittelyssä käytettiin Microsoft Excel -ohjelmistoa.

Vastausten keskikohdan ja vaihtelun tarkasteluun valittiin järjestystunnusluvut, jotka soveltuvat paitsi järjestysasteikollisten muuttujien kuvailuun, mutta myös tilanteisiin, joissa keskiarvo ja -hajonta vääristyvät. Näiden lisäksi keskiarvoa tarkasteltiin mediaanin ohella, koska tällöin on mahdollista havaita vääristynyt keskiarvo myös tulosten käsittelyn yhteydessä. Järjestystunnusluvut eivät ole yhtä herkkiä jakauman vinoudelle ja poikkeaville arvoille kuin keskiarvo ja -hajonta. Näitä tunnuslukuja ovat minimi, ala- ja yläkvartiili, mediaani sekä maksimi. [25, s. 56–57] Kvartiilipoikkeaman avulla voidaan arvioida järjestysasteikollisen muuttujan hajontaa [59, s. 36]. Korrelaatiota voidaan analysoida järjestysasteikollisesta aineistosta Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen avulla ja tilastolliseksi merkitsevyystestaukseksi sopii ei-parametrisistä testeistä muun muassa Mann-Whitney U-testi [59, s. 36].

Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella tarkastellaan riippuvuutta, kun se ei ole välttämättä lineaarista. Järjestyskorrelaatiokerroin saa tavallisen korrelaatiokertoimen tapaan arvoja -1 :stä $+1$:een. Toisin kuin Pearsonin korrelaatiokertoimen tapauksessa Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella tarkastellaan alkuperäisten arvojen asemasta arvojen järjestysnumeroita aineistossa. Havainnot laitetaan suuruusjärjestykseen ja niille lasketaan järjestysluvut 1 (pienin arvo), 2 (toiseksi pienin arvo) ja niin edelleen. Havaintojen välisellä suuruuserolla ei ole merkitystä tarkastelun kannalta. [67]

Järjestyskorrelaatiokerroin mittaa, esiintyvätkö kahden muuttujan suurimmat arvot aineistossa usein yhtä aikaa ja vastaavasti pienimmät arvot usein samoissa havainnoissa, jolloin kyseessä on positiivinen korrelaatio. Jos toisen muuttujan pienimmät arvot liittyvät usein toisen muuttujan suurimpiin arvoihin, kyseessä on negatiivinen korrelaatio. Tästä syystä voidaan havaita vahvoja epälineaarisia riippuvuuksia. [67]

Tässä tutkimuksessa yksittäisiä muuttujia on tarkasteltu järjestystunnuslukujen avulla. Jokaisen Osgoodin asteikolla kerätyn havainnon järjestystunnusluvut sekä keskiarvot määritettiin aineistosta. Näiden pohjalta muodostettiin ruutu- ja janakaavioita, joissa kuvataan minimi- ja maksimi-arvot, kvartiiliväli, mediaani sekä keskiarvo. Vastaavalla tavalla tarkasteltiin haasteiden kriittisyyttä mitanneiden kysymysten vastauksia. Myös taktisen suorituskyvyn osa-alueiden tärkeysjärjestystä mittaavan kysymyksen vastauksia analysoitiin tarkastelemalla aineiston järjestystunnuslukuja. Lisäksi avoimia vastauksia antaneiden vastaajien osalta verrattiin avoimen vastauksen sisältöä kysymyksen numeraaliseen vastaukseen ristiriitojen havaitsemiseksi.

Kyselyn sisäistä konsistenssia arvioitiin laskemalla hybriditeknologioiden hyötyjen tärkeyttä mitanneiden kysymysten ja vastaavien kyvykkyyksien kriittisyyttä mitanneiden kysymysten välinen korrelaatio sekä Pearsonin että Spearmanin korrelaatiokertoimilla. Pearsonin korrelaatiokertoimen ohella tarkasteltiin Spearmanin korrelaatiokerrointa, koska osassa muuttujia keskiarvo on voinut vääristyä. Sisäisen konsistenssin arviointiin käytettiin Cronbachin alfaa, jolla mitataan yleisesti mittarin sisäistä yhtenäisyyttä [68]. Sisäistä yhtenäisyyttä arvioitiin vertaamalla taktisten suorituskyyvaatimusten mukaisesti ryhmiteltyjen kysymysten vastauksia toisiinsa. Cronbachin alfa saa arvoja väliltä $0-1$ ja yli $0,6$ olevan arvon kertoo hyvästä reliabilisuudesta [59, s. 139, 143]. Cronbachin alfan käyttöä kohtaan on esitetty myös kritiikkiä tilanteissa, joissa sitä käytetään rutiinomaisesti ja jättämällä osioita pois summamuuttujista [25, s. 120].

Avoimia vastauksia tarkastellessa analyysimenetelmänä käytettiin sisällönanalyysia ja sisällön erittelyä. Sisällönanalyysissä tarkastellaan kerättyä aineistoa eritellen, yhtäläisyyksiä ja eroja etsien sekä tiivistäen [69, s. 105]. Tämän avulla tutkittavasta ilmiöstä pyritään muodostamaan tiivistetty kuvaus, joka liittää tulokset ilmiön laajempaan kontekstiin ja aihetta koskeviin muihin tutkimustuloksiin [69, s. 105]. Sisällön erittelyllä taas tarkoitetaan kvantitatiivista dokumenttien analyysia, jossa tekstin tai dokumentin sisältöä kuvataan määrällisesti [69, s. 107–108].

Kyselyssä käytettyihin strukturoituihin kysymyksiin liittyviä avoimia vastauksia analysoitiin sisällön erittelyn keinoin. Vastauksista etsittiin yhdistäviä tekijöitä, joiden perusteella vastaukset ryhmiteltiin samankaltaisiin vastauksiin. Ryhmittelyn tuloksena muodostettiin frekvenssi-taulukoita, jotka on esitetty alaluvussa 4.3. Tutkimusaineisto vastaavien kysymysten tarkastelun yhteydessä. Vastausten sisältö luokiteltiin myös positiivisiin, neutraaleihin ja negatiivisiin. Luokittelu tehtiin tarkastelemalla avoimen vastauksen sisältöä sekä vastaajan numeraalista vastausta samaan kysymykseen. Positiiviseen luokkaan sisältyi numeraaliset arvot 4 ja 5, neutraaliin 3 sekä negatiiviseen 1 ja 2.

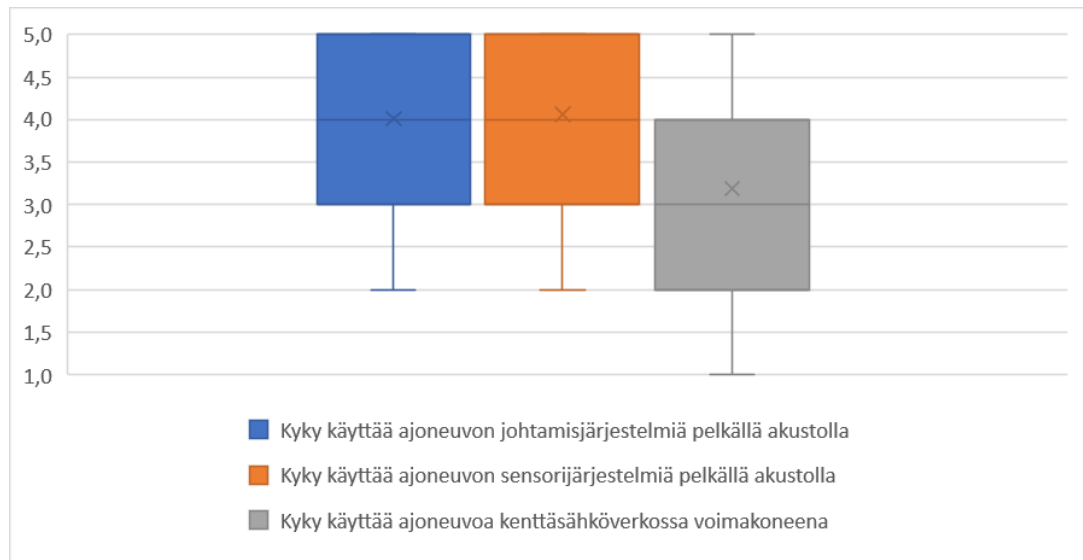
4.3. Tutkimusaineisto

Tässä alaluvussa esitellään analyysin perusteella muodostetut havainnot tutkimusaineistosta. Hybriditeknologian hyötyihin liittyvien kysymysten tulokset käsitellään viidessä taktisen suorituskyvyn osa-alueen mukaisessa ryhmässä. Hybridijärjestelmien käytön haasteita käsittelevien kysymysten tulokset esitellään hyötyjen jälkeen. Hyötyjä ja haasteita mittaavien suljettujen kysymysten vastaukset tarkastellaan osakokonaisuuksittain. Vastaavien kysymysten avoimia vastauksia tarkastellaan kysymyksittäin.

Hyötyjen kriittisyyksien tarkastelun osalta tulokset kriittisyyksien jakautumisesta esitetään kysymyskohtaisesti. Lisäksi tarkastellaan taktisen suorituskyvyn osa-alueiden tärkeysjärjestyksen tuloksia. Lopuksi esitellään kyselyn sisäisen konsistenssin arviointi hybridijärjestelmien hyötyjen osalta ja sitä varten lasketut korrelaatiokertoimet. Kyselyaineiston raakadata on tutkijan hallussa.

4.3.1. Hybriditeknologioiden hyödyt

Kyselyyn osallistuvilta kysyttiin hybriditeknologioiden panssaroiduille pyöräajoneuvoille mahdollistavien kykyjen tarpeellisuutta yhteensä seitsemällätoista väittämällä. Väitteet jaettiin viiteen ryhmään edellä mainittujen taktisen suorituskyvyn osa-alueiden mukaisesti. Johtamisen osa-alue sisälsi yhteensä kolme väittämää, joiden vastauksien järjestystunnuslukuja on havainnollistettu kaaviossa 2.



Kaavio 2: Johtamisen osa-alueen kysymysten vastaukset (n=69)

Johtamisen osa-alueeseen kysymyksistä johtamis- ja sensorijärjestelmien akkukäytön tärkeyttä mitanneiden kysymysten vastausten mediaanit olivat 4. Myös vastausten keskiarvot, jotka on merkitty kaaviossa 2 x:llä, ovat hyvin lähellä mediaanien arvoja. Vastausten hajontaa kuvaava kvartiilipoikkeama oli 1, ja suurin osa vastauksista sijoittui välille 3–5. Toisin sanoen suurin osa vastauksista painottui vastausvaihtoehtojen yläpäähän. Kyvyn käyttää ajoneuvoa kenttä sähköverkon voimakoneena tärkeyttä mitanneen kysymyksen vastausten mediaani oli 3. Kvartiilipoikkeama oli 1, joten vastausten hajonta oli vastaava edellisen kahden kysymyksen kanssa. Kuten kaaviosta 2 voi todeta, tässä tapauksessa suurin osa vastauksista sijoittui välille 2–4 ja vastaukset jakautuivat tasaisemmin koko vastausvälille kuin kahden ensimmäisen kysymyksen tapauksessa. Mediaaneja ja keskiarvoja tarkastelemalla voidaan todeta, että kykyä käyttää ajoneuvon johtamis- ja sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla pidetään melko tärkeinä. Mahdollisuutta hyödyntää ajoneuvoa voimakoneena kenttä sähköverkossa taas pidetään vähemmän tärkeänä kyvykkyytenä ja siihen suhtaudutaan neutralisti.

Taulukko 3: ”Kyky käyttää ajoneuvon johtamisjärjestelmiä pelkällä akustolla” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=19)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Paljastumisen riskin pienentyminen	3		
Polttoaineen säästäminen	1		
Mahdollisuus lämmittää miehistötilaa	1		
Ajoneuvon sähköistäminen ulkoisella voimakoneella	2	1	
Ajoneuvon roolin vaikutus tarpeellisuutteen	2	3	
Ajallinen tarve 8-12 h		2	2
Akuston suuri koko vähentää tarpeellisuutta			2
Yhteensä:	9	6	4

Taulukossa 3 on esitetty ensimmäisen kysymyksen avoimien vastauksien jakaumaa sisällön mukaan ryhmiteltynä. Vastauksia tarkasteltaessa voidaan havaita, että tietyt asiat toistuvat vastauksien sisällössä. Suuressa osassa avoimia vastauksia esiin nostettiin ajoneuvon roolin vaikutus tarpeeseen käyttää ajoneuvon johtamisjärjestelmiä pelkällä akustolla 15–24 tuntia. Kyvykkyys koettiin tärkeämmäksi komentoajoneuvon tapauksessa verrattuna niin sanottuun riviajoneuvoon. Toisaalta kahdessa vastauksessa arvioitiin, että esitetyn aikaikkunan tapauksessa ajoneuvon akuston koko kasvaa liian suureksi verrattuna saavutettavaan hyötyyn. Tämän todettiin aiheuttavan haasteita ajoneuvon painon ja käytettävissä olevan sisätilan kanssa. Vastauksista selvisi myös, ettei kysymyksen yhteydessä esitetyn aikavaatimuksen katsota olevan tarpeellinen vaan lyhyempi aika, esimerkiksi 8–12 tuntia, on riittävä. Tällöin vaatimukset akuston koolle ovat maltillisemmat ja akustoon liittyviä haasteita voi vähentää. Näiden vastausten lisäksi kolme vastaajaa mainitsi ajoneuvon sähköistämisen ulkoisella voimakoneella, jos aikaikkuna on kysymyksen yhteydessä esitetyn mittainen.

Taulukko 4: ”Kyky käyttää ajoneuvon sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=20)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Tilannekuvan muodostaminen	8		
Paljastumisen välttäminen	3		
Polttoaineen säästö	1		
Ulkoinen sähkönsyöttö	1	2	
Lyhyempi ajallinen tarve		4	
Vuodenajan vaikutus/akuston suuri koko			1
Yhteensä:	13	6	1

Taulukoon 4 on koottu väitteen ”Kyky käyttää ajoneuvon sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla” avoimista vastauksista kootut ryhmät. Väitteen avoimissa vastauksissa korostui kyvyn tarpeellisuus etenkin puolustusellisissa tehtävissä. Kyvyn koettiin olevan tärkeä joukon tilannekuvan muodostamisessa, minkä koettiin tarjoavan ajoneuvoa käyttävälle joukolle mahdollisuuden esimerkiksi aloitteen tempaamiseen. Akuston hyödyntämisen todettiin osaltaan vaikeuttavan myös ajoneuvon paljastumista, kun polttomoottoria ei tarvitse käyttää yhtä usein kuin perinteisen ajoneuvon tapauksessa. Tällöin ajoneuvon jäähtyminen ajon tai taistelujen jälkeen on mahdollista ja sen havaitseminen lämpötähystyksellä vaikeutuu. Lisäksi vähäisempi tarve käyttää polttomoottoria todettiin tarjoavan polttoainesäästöä. Toisaalta myös tämän kysymyksen yhteydessä ulkoista sähkönsyöttöä pidettiin mahdollisena vaihtoehtona akkukäytön sijasta. Lisäksi kysymyksen selitteessä esitettyä 15–24 tunnin aikaikkunaa ei pidetty tarpeellinen, vaan johtamisjärjestelmien akkukäytön vastausten yhteydessä arvioitu 8–12 tunnin aikaikkuna

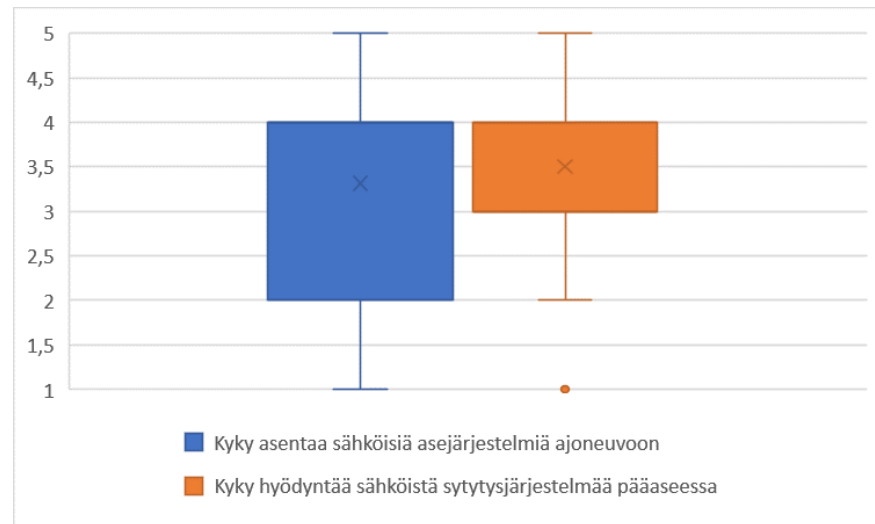
koettiin riittäväksi. Myös sensorijärjestelmien akkukäytön vastauksissa mainittiin pitkän ajallisen vaatimuksen vaikutus ajoneuvon akuston kokoon, jolla arvioitiin olevan haasteita aiheuttavia vaikutuksia, kuten varaustilan laskeminen kylmissä olosuhteissa, mikä voi vaikeuttaa ajoneuvon käynnistämistä.

Taulukko 5: ”Kyky käyttää ajoneuvoa kenttä sähköverkossa voimakoneena” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=21)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Joukon sähkölaitteiden lataaminen	6		
Sähköntuotannon lisäresurssi		3	
Erillisen voimakoneen käyttö		2	1
Ajoneuvon roolin merkitys		2	
Ajoneuvon omat järjestelmät tärkeämpiä		1	
Toissijainen ominaisuus		1	1
Joustavuus ja taistelunkesto, ei kuitenkaan tärkeä			1
Ajoneuvon sitominen voimakoneeksi			3
Yhteensä:	6	9	6

Taulukoon 5 on koottu kolmannen väitteen avoimet vastaukset ryhmittäin. ”Kyky käyttää ajoneuvoa kenttä sähköverkossa voimakoneena” väitteen avoimissa vastauksissa nostettiin usein esille joukkojen sähköä käyttävien laitteiden kasvava määrä. Näiden laitteiden akkujen lataamiseen ajoneuvon käyttö koettiin järkeväksi ratkaisuksi siten, että akkujen lataaminen olisi mahdollista esimerkiksi ajoneuvossa itsessään. Ajoneuvon käyttöä kenttä sähköverkon sähköistämiseen voimakoneena ei pidetty järkevänä ja kustannustehokkaana ratkaisuna. Parempana tähän tehtävään nähtiin varsinaiset voimakoneet. Ajoneuvon roolin merkitys mainittiin myös tekijänä ominaisuuden tarpeellisuuden arvioinnissa. Esimerkiksi taisteluajoneuvon tapauksessa mahdollisuutta käyttää ajoneuvoa voimakoneena ei pidetty järkevänä tai edes mahdollisena, mutta johtamisajoneuvon kannalta ominaisuus olisi merkittävämpi. Ajoneuvon käyttö voimakoneena nähtiin vähentävän ajoneuvon ja mahdollisesti sitä käyttävän joukon suojaa, jos ajoneuvo sidotaan voimakoneen staattiseen rooliin. Toisaalta ominaisuus koettiin myös sähköntuotannon lisäresurssina, josta olisi hyötyä ajoneuvoa käyttävällä joukolle.

Tulivoiman osa-alueen osalta vastaajien näkemyksiä hybridijärjestelmien tarjoamiin hyötyihin selvitettiin kahdella väitteellä, jotka olivat ”Kyky asentaa sähköisiä asejärjestelmiä ajoneuvoon” ja ”Kyky hyödyntää sähköistä sytytysjärjestelmää pääaseessa”. Kaaviossa 3 esitetään näiden väitteiden vastausten järjestystunnusluvut.



Kaavio 3: Tulivoiman osa-alueen kysymysten vastaukset (n=69)

Hybridijärjestelmien käytön tulivoiman osa-alueelle tarjoamien hyötyjen kysymyksistä kyvyn asentaa sähköisiä asejärjestelmiä ajoneuvoon vastausten mediaani oli 4. Vastausten hajontaa kuvaava kvartiilipoikkeama oli tässä tapauksessa 1 ja suurin osa vastauksista sijoittui välille 2–4. Kuten kaaviosta 3 voidaan todeta, suuri osa vastaajista suhtautui ominaisuuteen neutraalisti (22 % vastaajista) tai piti sitä melko tarpeettomana (22 % vastaajista). ”Kyky hyödyntää sähköistä sytytysjärjestelmää pääaseessa” kysymyksen vastausten mediaani on 3. Kvartiilipoikkeama oli 0,5, joten vastausten hajonta kyseisen kysymyksen tapauksessa oli toista tulivoiman osa-alueen kysymystä pienempää. Huomioitavaa tämän väitteen tapauksessa on yksittäinen, muista poikkeava vastaus, jossa kykyä pidetään tarpeettomana. Tämä esiintyy kaaviossa 3 oranssina pisteenä. Molempien kysymysten vastausten tapauksessa keskiarvot poikkeavat melko paljon mediaaneista, joten mediaanien tarkastelu keskilukuna on mielekkäämpää. Vastausten mediaaneja tarkastelemalla voidaan todeta, että sähköisten asejärjestelmien käytön mahdollisuutta pidetään melko tärkeänä kyvykkyytenä. Sähköisen sytytysjärjestelmän hyödyntämiseen taas suhtaudutaan neutraalisti. Toisaalta sähköisten asejärjestelmien asentamisen tapauksessa vastausten hajonta on suurempaa eli vastaajat ovat vähemmän samaa mieltä keskenään kyvykkyyden tärkeydestä kuin sähköisen sytytysjärjestelmän tärkeyden tapauksessa.

Taulukko 6: ”Kyky asentaa sähköisiä asejärjestelmiä ajoneuvoon” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=22)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Kasvava merkitys tulevaisuudessa	9	1	
Perinteiset aseet tärkeämpiä lähitulevaisuudessa		4	
En osaa sanoa		2	
Ajoneuvon roolin vaikutus tarpeellisuuteen		1	
Ei merkittävä suorituskyky lähitulevaisuudessa		4	1
Yhteensä:	9	12	1

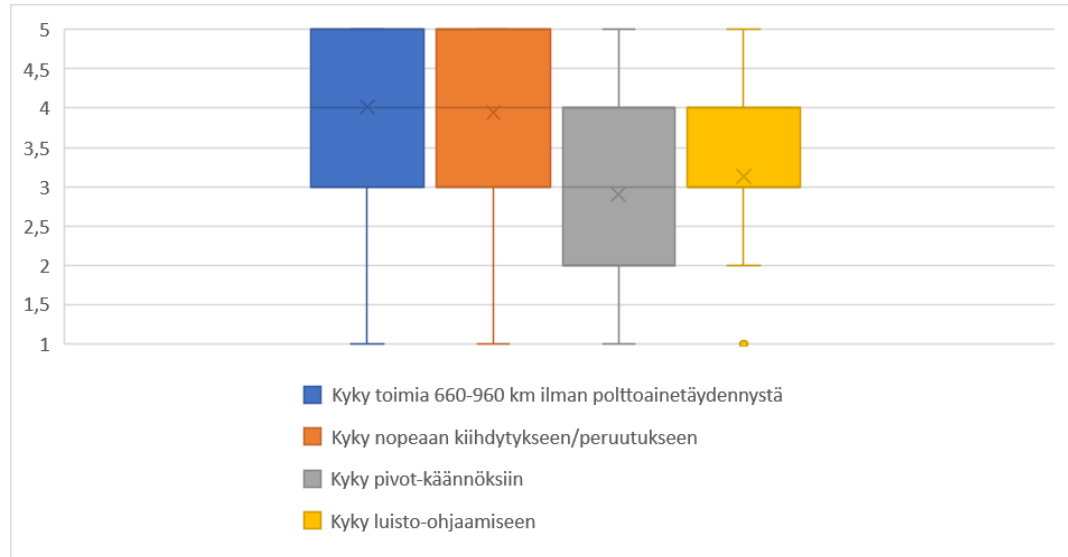
Taulukossa 6 on esitetty kykyä asentaa sähköisiä asejärjestelmiä ajoneuvoon mittaavan kysymyksen avoimet vastaukset luokiteltuina ryhmiin. Suurin osa avoimen vastauksen antaneista arvioi kyvyn merkityksen kasvavan tulevaisuudessa. Tästä huolimatta osassa vastauksia perinteisten aseiden merkitys todettiin sähköisiä asejärjestelmiä tärkeämmäksi lähitulevaisuudessa. Samansuuntainen näkemys esitettiin vastauksissa, joissa sähköisten asejärjestelmien ei koettu olevan merkittävä suorituskyky lähitulevaisuudessa. Yhden vastaajan mielestä myös ajoneuvon rooli vaikuttaa kyvyn tarpeellisuuteen, eikä kyky ole välttämättä tarpeellinen kaikissa ajoneuvoissa. Kahden vastauksen mukaan vastaaja ei pysty arvioimaan kyvykkyyden merkitystä.

Taulukko 7: ”Kyky hyödyntää sähköistä sytytysjärjestelmää pääaseessa” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=18)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Tulivoimaa parantava vaikutus	4	2	
Tarpeellisuus riippuu käytettävästä asejärjestelmästä/ajoneuvon roolista	2	1	
Sähkösytytys käytössä jo nykyisin	2	2	
En osaa sanoa/kysymys on epäselvä		1	
Saavutettava hyöty ei ole merkittävä		1	
Häiriöherkkyyden vaikutus merkitykseen		1	2
Yhteensä:	8	8	2

Taulukossa yllä esitetään ”Kyky hyödyntää sähköistä sytytysjärjestelmää pääaseessa” kysymyksen avoimet vastaukset ryhmittäin. Vastauksista suurimman ryhmän muodostivat vastaajat, joiden mielestä kyvyllä on tulivoimaa parantava vaikutus. Kyseiseen ryhmään sisältyvissä vastauksissa todettiin muun muassa, että kyky on merkittävä, jos se pystytään toteuttamaan ilman merkittävää ajoneuvon massan lisääntymistä. Lisäksi ominaisuuden todettiin toimiessaan tuovan lisäarvoa esimerkiksi vähentämällä ampumatarvikekulutusta. Toisaalta kyvyn tärkeyden todettiin riippuvan myös ajoneuvossa käytettävästä asejärjestelmästä, eikä merkittävää suorituskyvyn parannusta tulivoimassa koettu saatavan, jos ajoneuvossa on pääaseena esimerkiksi kaliiberiltaan 12,7 millimetrinen konekivääri. Neljässä vastauksessa muistutettiin, että sähköinen sytytysjärjestelmä on käytössä nykyisinkin useissa asejärjestelmissä, esimerkiksi Leopard- ja BMP-1 -kalustossa. Kriittisimmin esitettyyn kykyyn suhtautuneiden ryhmässä esitettiin nykyisin käytössä olevien sähköisten sytytysjärjestelmien vika- ja häiriöherkkyys. Myös näissä vastauksissa tuotiin esille edellä mainittu kalusto ja sen käytöstä saadut kokemukset. Yhden vastauksen tapauksessa vastaaja ei kokenut pystyvänsä ottaa kantaa asiaan ja yhdessä vastauksessa kykyä ei pidetty merkittävänä parannuksena, koska vastaajan mukaan laukaisun viive on mahdollista ottaa huomioon ammunnanhallinnassa eikä lähtönopeuden parannus ole merkittävä ulko- tai maaliballistiikan kannalta.

Liikkuvuuden osa-alueen kykyjen tarpeellisuutta selvitetiin neljällä väitteellä, joissa vastaajia pyydettiin arvioimaan hybridijärjestelmän mahdollistaman toimintasäteen, kiihtyvyyden ja ohjaustilojen tarpeellisuutta panssaroidussa pyöräajoneuvossa. Vastauksien perusteella laskettuja järjestystunnuslukuja havainnollistetaan kaaviossa 4.



Kaavio 4: Liikkuvuuden osa-alueen kysymysten vastaukset (n=69)

Toimintasäteen ja kiihtyvyyden paranemisen tärkeyttä mittaavien kysymysten tapauksissa mediaanit olivat 4 ja vastausten hajontaa kuvaavat kvartiilipoikkeamat 1. Näiden kysymysten vastaukset jakautuvat koko vastausvälille, mutta suurin osa vastauksista on välillä 3–5. Hybridijärjestelmän pyöräajoneuvolle mahdollistavien ohjaustilojen eli pivot-käännösten ja luisto-ohjaamisen tapauksessa mediaanit ovat 3. Vastausten hajonta oli pivot-käännösten tarpeellisuutta mittaavassa kysymyksessä yhtä suurta kuin kahden edellisen kysymyksen tapauksessa (kvartiilipoikkeama 1). Luisto-ohjaamisen tärkeyttä mitanneessa kysymyksessä vastaajat antoivat vähemmän toisistaan poikkeavia vastauksia ja kvartiilipoikkeama oli 0,5. Kuten kaaviosta 4 voidaan todeta, näiden kysymysten tapauksissa keskiarvot ovat hyvin lähellä mediaania, jolloin molempien keskilukujen tarkastelu tulosten suhteen on mahdollista. Vastausten mediaanien ja keskiarvojen tarkastelun perusteella toimintasäteen ja ajoneuvon kiihtyvyyden paranemisen kyvykkyyksiä pidettiin melko tärkeinä ajoneuvon käyttäjän kannalta. Kykyjä hyödyntää pivot-käännöksiä ja luisto-ohjaamista ei pidetty yhtä tärkeinä ominaisuuksina vaan ne arvioitiin neutraaleiksi.

Taulukko 8: ”Kyky toimia 660–960 km ilman polttoainetäydennystä” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=20)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Operatiivisen liikkuvuuden parantuminen	6		
Huollollisen taakan vähentyminen	6		
Joustavuus ja taistelunkesto	1		
Hybridin peruslisäarvo	1		
Ei merkittävä parannus	1	4	
Hyödyllinen KRIHA-toimintaympäristössä		1	
Yhteensä:	15	5	0

Väitteen ”Kyky toimia 660–960 km ilman polttoainetäydennystä” avointen vastausten määrät ryhmittäin on esitetty taulukossa 8. Vastauksissa keskeisimpinä kokonaisuuksina mainittiin ajoneuvon ja sitä käyttävän joukon operatiivisen liikkuvuuden parantuminen. Myös polttoainehuollon tarpeen vähentymisen todettiin lisäävän esitetyn kyvykkyyden tarpeellisuutta panssaroidussa pyöräajoneuvossa. Yhdessä vastauksessa kyvyn koettiin tuovan joustavuutta ja taistelunkestoja ajoneuvon käytölle. Toisaalta osassa vastauksista mahdollista toimintasäteen parantamista 10–20 %:lla ei pidetty merkittävänä joukon liikkuvuuden tai polttoainehuollon kannalta. Esimerkiksi yhdessä vastauksessa todettiin, että: ”Energia on aina tuotettava jollain ja ajoneuvojen tapauksessa se on nestemäinen polttoaine. Käytännössä logistinen kuorma ajettua kilometriä kohden ei vähene.” Yhdessä vastauksessa parannuksen merkitystä pidettiin tärkeänä kriisinhallintatoimintaympäristössä (KRIHA) ja yhdessä vastauksessa kyseessä todettiin olevan peruskysymys, joka tuo esille hybridin lisäarvon.

Taulukko 9: ”Kyky nopeaan kiihdytykseen/peruutukseen” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=18)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Taistelunkeston kannalta tärkeä ominaisuus	1		
Tarpeellisuus riippuu ajoneuvon roolista	1		
Merkityksellinen tuliasematoiminnassa	6		1
Parantaa ajoneuvon suoja	7		1
Nykyisissä ajoneuvoissa riittävällä tasolla		1	
Yhteensä:	15	1	2

”Kyky nopeaan kiihdytykseen/peruutukseen” tärkeyttä mittaavan kysymyksen avointen vastausten ryhmät on koottu taulukkoon 9. Vastausten perusteella suurin osa vastaajista koki ominaisuuden tuovan lisäarvoa ajoneuvon tularasematoiminnassa sekä taistelunkeston parantamisessa, koska nopeamman kiihtyvyyden todettiin parantavan ajoneuvon suojaa liikkeen avulla. Yhdessä avoimessa vastauksessa tarpeellisuuden todettiin riippuvan ajoneuvon roolista taistelulentäällä siten, että etulinjassa käytettävän ajoneuvon tapauksessa ominaisuus on tarpeellinen ja muussa tapauksessa ominaisuudesta ei ole haittaa eikä suurta hyötyä. Yksi vastaaja, jonka avoimessa vastauksessa ominaisuuden todettiin parantavan ajoneuvon suojaa, oli kuitenkin vastannut väitteen suljettuun kysymykseen arvolla 2. Tämä viittaa siihen, että numeraaliseen vastaukseen on voinut tulla virhe.

Taulukko 10: ”Kyky pivot-käännöksiin” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=15)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Tärkeä ominaisuus ahtaissa paikoissa, esim. asutuskeskukset	3		
Keskinkertainen merkitys		1	
En osaa sanoa		1	
Hyvä lisä, ei kuitenkaan välttämätön		3	1
Kääntyvyys ei ole haaste pyöräajoneuvoilla			1
Lisää suojaa/taistelunkestoa, ei kuitenkaan välttämätön			2
Ei tarpeellinen ominaisuus			4
Yhteensä:	3	5	8

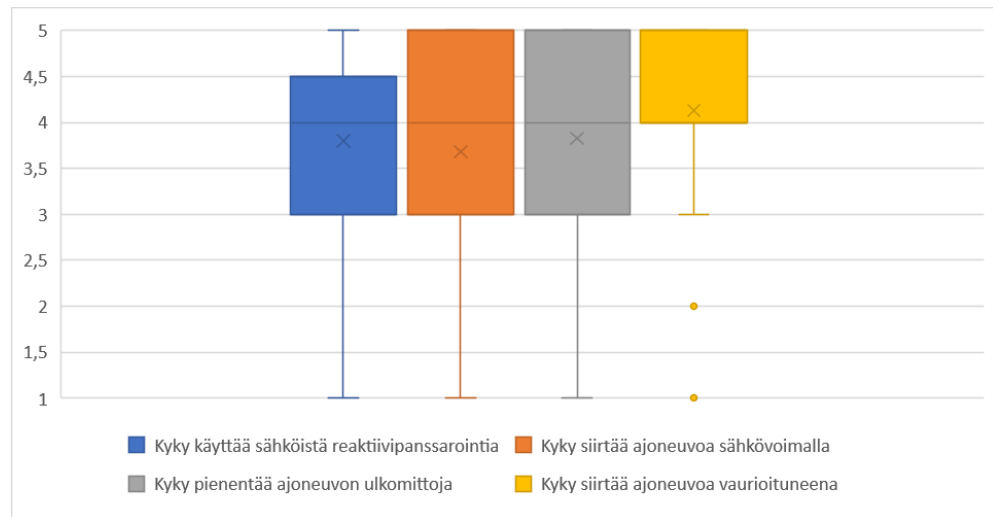
Pivot-käännösten tärkeyttä mitanneen kysymyksen avoimet vastaukset ryhmittäin on koottu taulukkoon 10. Kykyä tärkeänä pitäneet vastaajat perustelivat kantaansa sillä, että kyky parantaa ajoneuvon käytettävyyttä ahtaissa paikoissa esimerkiksi asutuskeskuksissa. Neutraalisti kyvyn tärkeyteen suhtautuneiden vastauksissa kyvyn merkitystä pidettiin hyvänä lisänä ajoneuvon ominaisuuksiin, mutta kykyä ei pidetty välttämättömänä ajoneuvon toiminnan kannalta. Ominaisuutta melko tai kokonaan tarpeettomana pitäneiden vastaajien avoimissa vastauksissa kyvyn todettiin lisäävän ajoneuvon suojaa ja taistelunkestoa, mutta kykyä ei pidetty välttämättömänä. Suurimman yksittäisen ryhmän muodostivat vastaukset, joissa kykyä ei pidetty ollenkaan tarpeellisenä. Tähän ryhmään kuuluvissa vastauksissa todettiin muun muassa, että pivot-käännöksiin kykenevissä tela-alustaisissa ajoneuvoissa kykyä käytetään harvoin. Lisäksi yhdessä vastauksessa todettiin, ettei kääntyvyys ole kokemusten perusteella ongelma perinteistä tekniikkaa käyttävien XA-ajoneuvojen tapauksessa. Eräs vastaaja totesi, ettei osaa ottaa kantaa kyvyn tarpeellisuuteen.

Taulukko 11: ”Kyky luisto-ohjaamiseen” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=17)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Parantunut liikkuvuus ahtaissa paikoissa, esim. asutuskeskuksissa	2	2	
Tarpeellinen esim. liukkaalla	1		
Ei lisähyötyä verrattuna AMV:n vastaavaan kykyyn		2	
Tarpeellinen, jos jarrutusenergia otetaan talteen		1	
En osaa sanoa		1	
Lisää suojaa/taistelunkestoa, ei kuitenkaan välttämätön		1	1
Ei tarpeellinen ominaisuus		2	3
Kääntyvyys ei ole haaste pyörajoneuvoilla			1
Yhteensä:	3	9	5

Taulukossa 11 on esitetty luisto-ohjaamisen tärkeyttä mitanneen kysymyksen avoimien vastausten pohjalta muodostetut ryhmät. Osassa vastauksia ominaisuuden todettiin parantavan ajoneuvon liikkuvuutta etenkin ahtaissa paikoissa, esimerkiksi asutuskeskuksissa. Yksi vastaaja arvioi kyvystä olevan hyötyä esimerkiksi liukkaalla alustalla. Kyvyn ei kuitenkaan koettu tarjoavan merkittävää parannusta esimerkiksi AMV-ajoneuvojen vastaavan tyyppiseen kykyyn verrattuna. Eräässä vastauksessa todettiin, että: ”Tällaisessa lienee merkityksetöntä jarruteataanko joka pyörää itsenäisesti vai kaikkia saman puolen pyöriä kerralla.” Vastaavaan näkökulman esitti yksi vastaaja, joka arvioi kyvyn tarpeettomaksi, koska kääntyvyys ei ole haaste perinteisissä pyörajoneuvoissa. Toisaalta yhdessä vastauksessa todettiin ominaisuuden merkityksen kasvavan, jos jarrutusenergia kerätään talteen luisto-ohjaamisen käytön yhteydessä. Kuten edellisen väitteen tapauksessa, myös luisto-ohjaamista reilu neljännes avoimia vastauksia antaneista vastaajista ei pitänyt esitettyä kyvykkyyttä tarpeellisena ominaisuutena.

Taistelunkeston osa-alueeseen sisältyi neljä väitettä, joilla selvitettiin kyvyn käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia, kyvyn siirtää ajoneuvoa pelkällä sähköllä, kyvyn pienentää ajoneuvon ulkomittoja sekä kyvyn siirtää ajoneuvoa vaurioituneena tarpeellisuutta panssaroiduissa pyörajoneuvoissa. Näiden väitteiden vastausten järjestystunnusluvut esitetään kaaviossa 5.



Kaavio 5: Taistelunkeston osa-alueen kysymysten vastaukset (n=69)

Kaikkien taistelunkeston osa-alueen kysymysten vastauksien mediaanit ovat 4. Myös näiden vastauksien keskiarvot ovat melko lähellä mediaania. Eniten keskiarvo poikkeaa mediaanista ajoneuvon siirtämisen sähkövoimalla tärkeyttä mittaavan kysymyksen vastauksissa. Hajonta on pienintä väitteen ”Kyky siirtää ajoneuvoa vaurioituneena” vastauksissa, joiden kvartiilipoikkeama on 0,5. Kyseisen väitteen tapauksessa on huomioitavaa suurimmasta osasta poikkeavat vastaukset, joita oli yhteensä kolme: yksi vastaaja arvioi kyvykkyyden tarpeettomaksi ja kaksi melko tarpeettomaksi. Kuten kaaviosta 5 selviää, kolmen muun taistelunkeston osa-alueen väitteen vastausten hajonta on edellä mainittua suurempaa. Väitteen ”Kyky käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia” kvartiilipoikkeama on 0,75 ja kahden muun väitteen kvartiilipoikkeamat ovat 1. Toisin sanoen, kaikkia esitettyjä kyvykkyyksiä pidetään melko tärkeinä panssaroiduissa ajoneuvoissa. Tärkeimpänä esitettyistä kyvykkyyksistä voidaan pitää kykyä siirtää ajoneuvoa vaurioituneena, koska vastaajien näkemykset ovat sen tapauksessa lähimpänä toisiaan.

Taulukko 12: ”Kyky käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia” avoimet vastaukset ryhmittäin (n=17)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Tärkeä omasuojan lisäys, jos toteutus on kustannustehokas eikä paino lisäännny	8	1	
Tärkeä jalkaväen ja varastoinnin turvallisuus huomioiden	2		
Tärkeä taisteluajoneuvossa etulinjassa	1		
Teknologia ei ole käyttökelpoinen lähitulevaisuudessa		1	
En osaa sanoa		1	
Ei merkittävä suorituskykyparannus		1	1
Aktiiviset omasuojajärjestelmät tärkeämpiä			1
Yhteensä:	11	4	2

Kyvyn käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia ajoneuvossa avoimien vastausten ryhmät on esitetty taulukossa 12. Vastausten tarkastelussa kävi ilmi, että suurin osa avoimen vastauksen antaneista piti kykyä tärkeänä. Vastausten ryhmittelyssä isoimman ryhmän muodostivat vastaukset, joissa kykyä pidettiin tärkeänä omasuojan lisäyksen kannalta. Ehtona tärkeydelle esitettiin, että toteutus on kustannustehokas eikä sähköisen reaktiivipanssaroinnin käytöllä ole merkittävää vaikutusta ajoneuvon massaansa. Muita kyvyn tärkeyden perusteluja olivat sähköisen reaktiivipanssaroinnin käytöllä mahdollisesti saavutettava turvallisuus verrattuna perinteiseen reaktiivipanssarointiin. Kykyä pidettiin tärkeänä myös ”etulinjan” taistelujoneuvossa. Toisaalta vastauksissa nostettiin esiin, ettei kyseinen panssarointi ole käyttökelpoista lähitulevaisuudessa. Yhden ryhmän muodostivat vastaukset, joissa kykyä ei pidetty tärkeänä verrattuna perinteiseen panssarointiin tai ajoneuvon häiveominaisuuksia parantaviin ratkaisuihin. Tähän ryhmään sisältyneessä vastauksessa kyky arvioitiin tarpeettomaksi, koska vastaaja koki ajoneuvon panssaroinnin läpäisyn olevan lähes varmaa käytettävästä panssaroinnista riippumatta. Lisäksi eräs vastaaja piti aktiivisten omasuojajärjestelmien käyttöä järkevämpänä.

Taulukko 13: "Kyky siirtää ajoneuvoa sähkövoimalla" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=15)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Tärkeä toimittaessa vihollisen läheisyydessä (tiedustelu/taistelu)	6		
Keskeinen hybridin hyöty	3		
Lisää suojaa ja vähentää vihollisen vaikutusta	1		
Hätäsiirto tärkeämpi kyvykkyyks		1	
Taktinen hyöty suurten joukkojen liikkeessä		1	
Ei välttämätön ominaisuus		1	1
Lyhyt aika verrattuna taistelun keston			1
Yhteensä:	10	3	2

Taulukoon yllä on koottu kyvyn siirtää ajoneuvoa sähkövoimalla avoimien vastausten ryhmät. Vastauksissa korostuivat ominaisuutta tärkeänä pitävien vastaukset. Näissä suurimman ryhmän muodostivat vastaukset, joissa kykyä pidettiin tärkeänä etenkin toimittaessa vihollisen läheisyydessä esimerkiksi tiedustelutehtävässä. Yhdessä vastauksessa esitettiin, että kyky olisi tärkein noin 10–20 kilometrin toimintasäteellä ennen viholliskosketusta. Kolmessa vastauksessa esitettyä kykyä pidettiin keskeisenä hybridijärjestelmän tarjoamana hyötynä. Yhdessä vastauksessa hätäsiirtomahdollisuutta tilanteessa, jossa ajoneuvon polttomoottori on vaurioitunut, pidettiin esitettyä kykyä tärkeämpänä. Eräässä vastauksessa kyvyn todettiin tarjoavan taktista hyötyä suurten joukkojen liikkeessä, mutta itse kykyyn suhtauduttiin neutraalisti. Kahden avoimen vastauksen tapauksessa kykyä pidettiin lähes tarpeettomana. Perusteeksi esitettiin

esimerkiksi väitteen yhteydessä esitetyn toiminta-ajan (0,5–1 tuntia) lyhyys verrattuna taistelujen keston. Vaikka ominaisuutta pidettiin tärkeänä ja sen koettiin vähentävän ajoneuvon havaittavuutta, vastauksissa tuotiin esille, että ajoneuvon havaitseminen on sähkökäytöstä huolimatta mahdollista esimerkiksi maastonvalvontatutkilla.

Taulukko 14: "Kyky pienentää ajoneuvon ulkomittoja" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=19)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Parantaa suojaa/pienempi maali	9	1	
Olenneisempaa optimoida komponenttien sijoittelua	1		
Tärkeä, jos ei vaikuta hyötykuormaan	2		
Helpottaa esim. tulasematoimintaa	1		
Säästyvän tilan hyödyntäminen kuljetuskapasiteetissa		1	
En osaa sanoa		1	
Sähköisen voimansiirron luotettavuus		1	1
Etu ei ole merkittävä			1
Yhteensä:	13	4	2

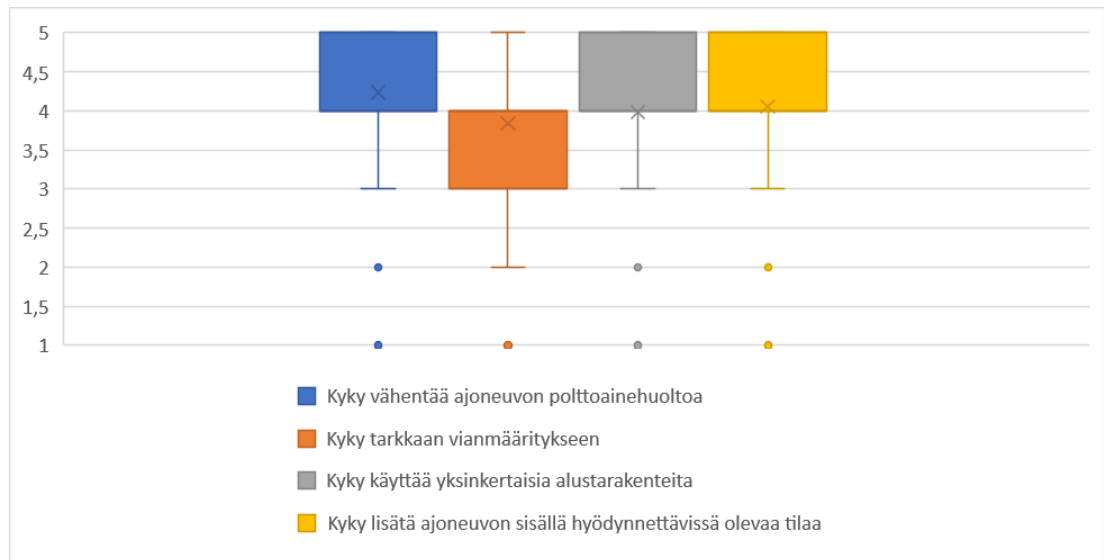
Taulukossa 14 esitetään ”Kyky pienentää ajoneuvon ulkomittoja” kysymyksen avoimet vastaukset ryhmittäin. Vastauksissa korostui pienemmän maalin ja parantuneen suojan pitäminen tärkeänä. Yhdeksässä avoimessa vastauksessa vastaaja oli pitänyt kykyä joko tärkeänä tai melko tärkeänä ja mainitsi pienemmän maalin tuoman parantuneen suojan syyksi kannalleen. Yhdessä vastauksessa kykyyn suhtauduttiin neutraalisti, mutta parantunut suoja ja pienentynyt koko mainittiin perusteluissa. Myös tulasematoiminnan helpottuminen mainittiin kyvyn tarpeellisuuden perusteluissa. Toisaalta yhdessä vastauksessa kykyä pidettiin tärkeänä, mutta koon pienentämistä olennaisempana pidettiin ajoneuvon komponenttien sijoittelun optimoimista ajoneuvon sisätilojen hyödyntämisen näkökulmasta. Yhdessä vastauksessa, jossa kykyyn suhtauduttiin neutraalisti, esitettiin samansuuntainen havainto säästyvän tilan hyödyntämisestä esimerkiksi joukon kaluston kuljettamiseen. Kahdessa vastauksessa kykyä pidettiin tärkeänä, jos kyvyn saavuttaminen ei vaikuta ajoneuvon kantavuuteen heikentävästi esimerkiksi akuston koon seurauksena. Kahdessa vastauksessa pohdittiin sähköisen voimansiirron luotettavuutta ja huollon helppoutta sotilassovelluksissa. Yhden vastauksen tapauksessa saavutettavaa etua ei pidetty merkittävänä ja yhdessä vastaaja ei osannut ottaa kantaa tarpeellisuuteen kyselystä puuttuvien perustelujen vuoksi.

Taulukko 15: "Kyky siirtää ajoneuvoa vaurioituneena" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=15)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Taistelunkestoa parantavat kyvyt hyödyllisiä	4		
Varajärjestelmän hyödyllisyys	1		
Hinaus- ja evakuointikaluston vähentäminen	3		
Kustannustehokkuus verrattuna nykyisten pyöräajoneuvojen kykyyn	1	1	1
Tapauskohtainen hyöty		1	
Kunnossapidon helpottuminen		1	
Mahdollinen painon lisääntymisen vaikutus		1	
Sähköisen voimansiirron luotettavuus			1
Yhteensä:	9	4	2

Taulukossa 15 on esitetty kykyyn siirtää ajoneuvoa vaurioituneena liittyvät avoimet vastaukset ryhmittäin. Suurimman ryhmän muodostivat vastaukset, joissa kyvyn tarpeellisuutta perusteltiin taistelunkestoa parantavien kykyjen hyödyllisyydellä. Esimerkiksi yhdessä vastauksessa todettiin, että: ”Koskaan ei pysty tietämään, mihin renkaaseen kohdistuu ensimmäisenä vaurioita, jolloin jokaisessa renkaassa pitää olla kyky voimansiirtoon.” Kolmessa vastauksessa kyvyn todettiin vaikuttavan myös joukon hinaus- ja evakuointikaluston tarpeeseen ja evakuointijärjestelyihin positiivisesti. Yhdessä vastauksessa nostettiin esille kahden erillisen voimanlähteen, joista toinen voi toimia varajärjestelmänä, tärkeys ajoneuvossa. Perinteisellä voimansiirrolla varustettujen pyöräajoneuvojen vastaavaa kykyä esitettyyn kykyyn verranneissa vastauksissa esiintyi eniten hajontaa kyvyn tärkeyden arvioinnissa. Näissä vastauksissa esitettiin kysymyksiä, onko esimerkiksi jokaiseen pyörään sijoitetuilla sähkömoottoreilla saavutettu hätäsiirtokyky kustannustehokas verrattuna perinteiseen voimansiirtoon. Yksi tähän ryhmään kuuluvista vastaajista piti kykyä tärkeänä, yksi suhtautui siihen neutraalisti ja yksi piti hyötyä tarpeettomana. Lopuissa avoimissa vastauksissa esiintyi esimerkiksi kyvyn tuoman hyödyn arviointi tapauskohtaisesti. Myös kunnossapidon helpottuminen mainittiin avoimissa vastauksissa, tosin tässä tapauksessa vastaaja suhtautui kykyyn neutraalisti. Yhdessä vastauksessa pohdittiin kyvyn mahdollistamiseksi käytettävien sähkömoottoreiden vaikutusta akseliston ja pyörien painoon. Kuten ajoneuvon ulkomittojen tapauksessa, myös hätäsiirron vastauksista yhdessä mainittiin sähköisten komponenttien luotettavuus kenttäolosuhteissa.

Logistiikan osa-alueeseen kuului neljä väittämää hybridijärjestelmien mahdollistamista hyödyistä. Vastaajien pyydettiin arvioimaan polttoainehuollon vähentämisen, tarkan vianmäärityksen, yksinkertaisten alustarakenteiden ja ajoneuvon hyödynnettävissä olevan sisätilan lisäämisen tarpeellisuutta. Vastausten perusteella lasketut järjestystunnusluvut on esitetty kaaviossa 6.



Kaavio 6: Logistiikan osa-alueen kysymysten vastaukset (n=69)

Jokaisen logistiikan osa-alueen kysymyksen vastausten mediaanit olivat 4. Näiden kysymysten vastausten keskiarvot olivat myös hyvin lähellä mediaania, mikä selviää myös kaaviosta 6. Kaikkien logistiikan osa-alueen kysymysten osalta vastausten hajonnat ovat suhteellisen pieniä verrattuna muihin kyselyssä esitettyihin väittämiin. Jokaisen logistiikan osa-alueen kysymyksen kvartiilipoikkeama on 0,5. Vastaukset sijoittuvat siis hyvin lähelle vastausten mediaania. Huomioitavaa on jokaisen kysymyksen kohdalla esiintyvät poikkeavat vastaukset. Esimerkiksi viisi vastaajaa piti tarpeettomana kykyä käyttää yksinkertaisia alustarakenteita. Vastausten mediaanien ja keskiarvojen perustella vastaajat pitivät kaikkia logistiikan osa-alueen kyvykkyyksiä melko tärkeinä panssaroiduissa ajoneuvoissa. Kvartiilipoikkeamien perusteella vastaajat suhtautuivat kyvykkyyksiin yhteneväisemmin kuin kyselyssä esitettyihin kyvykkyyksiin keskimäärin.

Taulukko 16: "Kyky vähentää ajoneuvon polttoainehuoltoa" avoimet vastaukset (n=16)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Huollon keventyminen	4	1	
Operatiivisen käytettävyyden parantuminen	3		
Kustannustehokkuuden parantuminen	1		
Tärkeä, mutta toteuttaminen mahdotonta	1		
Toimintasäteen tulisi olla 800-900 km		1	
Polttoaineen kulutus on ongelma Leopard- ja CV-kalustolla		1	
Muu	3		1
Yhteensä:	12	3	1

Taulukkoon 16 on koottu logistiikan osa-alueen ensimmäisen kysymyksen avoimet vastaukset ryhmittäin. Suurimman ryhmän muodostivat vastaukset, joissa kyvyn tärkeyttä perusteltiin huollon keventymisellä. Yksi vastaaja, joka mainitsi huollon keventymisen, arvioi kyvyn tarpeellisuuden kuitenkin neutraaliksi. Kyvyn tärkeäksi kokevissa vastaajissa oli myös henkilöitä, joiden mukaan ajoneuvon operatiivinen käytettävyys paranee, jos polttoainehuoltoa on mahdollista vähentää. Vastauksissa mainittiin myös kustannustehokkuuden parantuminen. Lisäksi eräässä vastauksessa kykyä pidettiin tärkeänä, mutta sen käytännön toteutus arvioitiin mahdottomaksi. Yksi vastaaja totesi kyvyn tärkeyden riippuvan ajoneuvoa käyttävästä joukosta ja arvioi toimintasäteen 800–900 kilometriin operatiivisten joukkojen tapauksessa, jotta kyvystä olisi hyötyä. Yhdessä vastauksessa polttoaineen kulutuksen ongelmallisuuden todettiin riippuvan ajoneuvotyypistä ja esimerkkeinä mainittiin muun muassa Leopard-kalusto, jossa polttoaineen kulutus koettiin haasteellisenä. Lopuista avoimista vastauksista ei ollut mahdollista muodostaa selkeitä ryhmiä, joten ne koottiin yhteen ryhmäksi ”Muu” taulukossa 16. Tässä ryhmässä negatiiviseen sarakkeeseen kuuluvassa vastauksessa kritisoitiin kysymyksen asettelua. Kyseisen vastaajan mukaan kyvyille ei ollut esitetty riittäviä perusteita kyselyssä.

Taulukko 17: "Kyky tarkkaan vianmääritykseen" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=19)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Nopeuttaa taistelukyvyyn palauttamista	6		
Tarkka määrittäminen verrattuna sähköjärjestelmien vikaantumiseen	2		
Käyttäjälle riittävä informaatio	1		
Diagnostiikka ei erehtymätöntä	1		
Ei kriittinen ominaisuus	1		
Helpottaa kunnossapitohenkilöstön työtä	2	1	
Ajoneuvon oltava korjattavissa kenttäolosuhteissa	1	3	
Muu			1
Yhteensä:	14	4	1

Tarkan vianmäärityksen kykyyn liittyvät avoimet vastaukset ryhmittäin on koottu taulukkoon 17. Avoimen vastauksen antaneista suurin osa piti kykyä tärkeänä. Tärkeimpänä kyvyn hyötynä pidettiin mahdollisuutta palauttaa ajoneuvon taistelukyky nopeammin. Lisäksi kyvyn todettiin helpottavan etenkin kunnossapitohenkilöstön työtä eikä niinkään ajoneuvon käyttäjän mahdollisuutta korjata ajoneuvon vikoja. Kyvyn tärkeyttä määritettäessä huomautettiin myös siitä, että tarkan vianmäärityksen hyöty voi vähentyä, jos ajoneuvon lisääntyvät sähköjärjestelmät vikaantuvat helposti. Vastauksissa huomautettiin lisäksi, että diagnostiikka ei ole erehtymätöntä vaan se voi antaa virheellisiä tietoja. Vaikka vianmäärityksen parantumista pidettiin tärkeänä

ominaisuutena, osassa vastauksista huomautettiin siitä, että ajoneuvon tulee olla korjattavissa kenttäolosuhteissa. Pelkän vianmäärittelyn ei todettu pitävän ajoneuvoa taistelukykyisenä, ja ilman korjattavuutta kyvyllä ei ole merkittävää hyötyä. Tähän liittyen diagnostiikan tulisi antaa riittävä ja ymmärrettävä tieto viasta ja korjausohjeet, eikä pelkästään vaikeasti ymmärrettävää vikakoodia. Näiden havaintojen ohella avoimissa vastauksissa todettiin kyvyn olevan hyvä, muttei kriittinen ominaisuus. Lisäksi yhden vastauksen perusteella vastaaja piti kysymyksen asettelua puutteellisena.

Taulukko 18: "Kyky käyttää yksinkertaisia alustarakenteita" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=19)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Kunnossapidon helpottuminen	5		
Sähköinen voimansiirto parantaa joustavuutta ajoneuvon suunnittelussa	1		
Mekaanisten osien vaihtaminen helpompaa	1		
Hyötyä esim. maavaran kasvusta	1		
Suosittelava ominaisuus	1		
Ei helpota huoltoa	2	1	
Hyödyttää enemmän huoltohenkilöstöä kuin ajoneuvon käyttäjää	1	1	
Sähköjärjestelmät lisäävät monimutkaisuutta ja vikaherkkyttä		2	3
Yhteensä:	12	4	3

Taulukkoon 18 on koottu yksinkertaisten alustarakenteiden kykyä käsittelevät avoimet vastaukset ryhmittäin. Kykyä tärkeänä pitäneiden vastaajien suurimman ryhmän muodostivat vastaukset, joissa kykyä pidettiin tärkeänä kunnossapidon helpottumisen näkökulmasta. Esimerkiksi mainittiin, että taisteluajoneuvon taistelukyvyn palauttaminen pitää olla mahdollisimman nopeaa, ja helpottunut kunnossapito mahdollistaa huollon resurssien kohdentamisen muiden vaurioiden korjaamiseen. Näiden näkemysten ohella sähköisen voimansiirron todettiin tuovan joustavuutta ajoneuvon järjestelmien komponenttien optimaalisen sijoittelun kannalta ja akselien poistaminen alustarakenteista todettiin tuovan hyötyä ajoneuville parantuneen maavaran kautta. Toisaalta, vaikka ominaisuutta pidettiin tärkeänä, mekaanisten osien, kuten kardaaniakselien, vaihtamista pidettiin sähkökaapeloinnin korjaamista helpompana. Yksinkertaistuvan alustarakenteen huoltoa helpottavaa vaikutusta myös epäiltiin, koska esimerkiksi varaosatarpeen ei todettu vähenevän, vaikka akselistot poistettaisiin ajoneuvon alustasta. Samoin kuin tarkan vianmäärittelyn tapauksessa, myös alustarakenteiden yksinkertaistumisen todettiin kahdessa vastauksessa hyödyttävän enemmän huoltohenkilöstöä ja esimerkiksi puolustusvoimien kumppaneita kuin ajoneuvon käyttäjää. Viidessä vastauksessa sähköjärjestelmien arvioitiin lisäävän ajoneuvon järjestelmien monimutkaisuutta sen sijaan, että se yksinkertaistaisi

ajoneuvon alustarakenteita. Tämän yhteydessä mainittiin myös huoli vikaherkkyuden lisääntymisestä ajoneuvossa.

Taulukko 19: "Kyky lisätä ajoneuvon sisällä hyödynnettävissä olevaa tilaa" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=13)

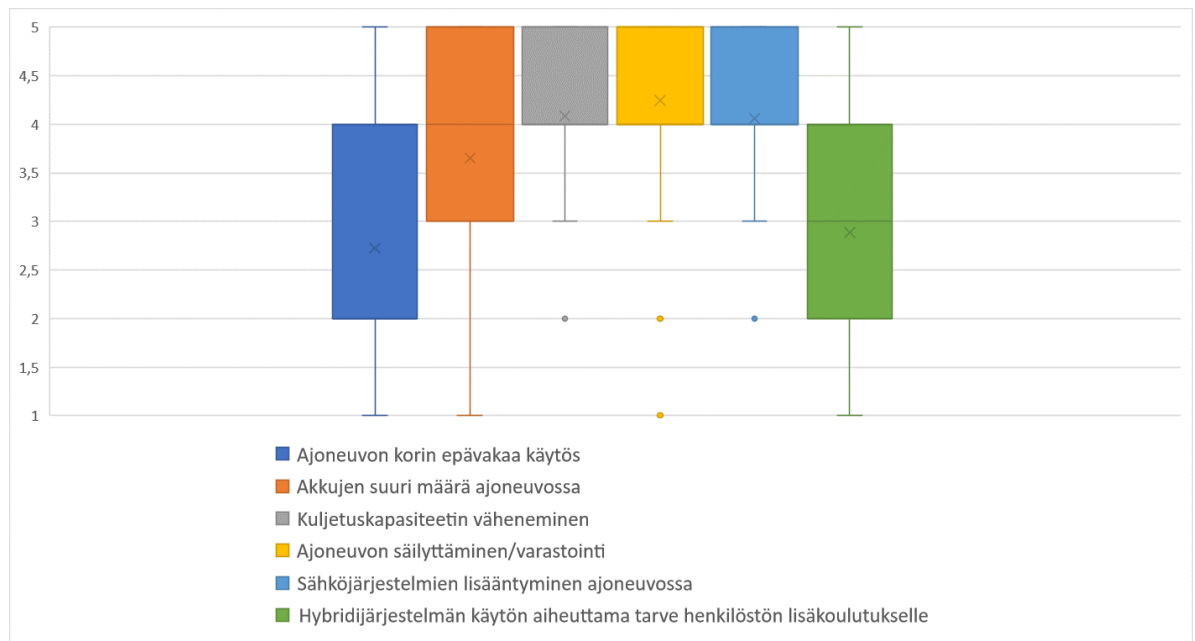
Ryhmä	Frekvenssi		
	Positiivinen	Neutraali	Negatiivinen
Joukon omavaraisuus täydennysten suhteen	6	2	
Lisääntyvä tilantarve tulevaisuudessa	2		
Kantavuuden riittävyys	1		
Sähköinen voimansiirto tuo joustavuutta komponenttien sijoitteluun	1		
Sähköisen voimansiirron vaatimukset ajoneuvon korille			1
Yhteensä:	10	2	1

Ajoneuvon sisällä hyödynnettävissä olevan tilan lisäämisen tärkeyttä mittaavan kysymyksen avoimista vastauksista kootut ryhmät on esitetty taulukossa 19. Näissä vastauksissa korostui vastaajien positiivinen suhtautuminen kykyyn. Ominaisuuden todettiin olevan hyödyllinen etenkin, kun ajoneuvoa käyttävä joukko pystyy kuljettamaan tarvitsemansa kaluston samassa ajoneuvossa henkilöstön kanssa, jolloin esimerkiksi kalustokuorma-autojen määrää on mahdollista vähentää. Tämän kyvyn todettiin myös mahdollistavan joukon käytön joustavuuden ja suorituskyvyn lisäämisen, kun ajoneuvon mahtuu enemmän henkilöstöä varusteineen. Toisaalta kyvyn suhteen muistutettiin, ettei marginaalinen tilan lisäys tarjoa riittävää hyötyä ajoneuvon käyttäjän kannalta, vaan kriittistä on, että joukko pystyy kuljettamaan kalustoaan mukana ajoneuvossa. Lisäksi kyvyn todettiin olevan tärkeä, koska tulevaisuudessa tilantarve kasvaa uusien järjestelmien lisääntyessä ja esimerkiksi suojamoduulijattelun vaikutuksesta. Yhdessä vastauksessa muistutettiin kuitenkin ajoneuvon kantavuuden vaikutuksesta kyvyn tärkeyden arvioinnissa, koska lisääntyvästä tilasta ei ole hyötyä, jos ajoneuvon kantavuus ei riitä tilan hyödyntämiseen täysimittaisesti. Myös tämän kysymyksen vastauksissa todettiin sähköisen voimansiirron tuomasta joustavuudesta ajoneuvon suunnitteluun ja komponenttien sijoitteluun, mitä pidettiin lisääntyvää sisätilaa tärkeämpänä ominaisuutena. Yhdessä vastauksessa huomautettiin, ettei tilan lisääntymisestä voida vetää johtopäätöksiä pelkän sähköisen voimansiirron hyödyntämisen takia, koska esimerkiksi ajoneuvon kori voi vaatia erinäisiä jäykkyyttä parantavia kulkimia rakenteeseen.

4.3.2. Hybriditeknologioiden mahdolliset haasteet

Vastaajien kantoja hybridijärjestelmien käytöstä mahdollisesti aiheutuviin haasteisiin selvitettiin kuudella väitteellä. Toisin kuin hyötyjen tapauksessa, haasteita mittaavia väitteitä ei jaettu

ryhmiin vaan ne käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena kyselyssä. Kaavioon 7 on kerätty haasteita käsitelleiden vastausten järjestystunnusluvut.



Kaavio 7: Haasteiden kriittisyyttä mitanneiden kysymysten vastaukset (n=69)

Akkujen määrän, kuljetuskapasiteetin vähenemisen, ajoneuvon varastoinnin ja sähköjärjestelmien lisääntymisen aiheuttamien haasteiden kriittisyyttä mitanneiden kysymysten vastausten mediaanit olivat 4. Näiden kysymysten keskiarvoja tarkastelemalla voidaan todeta, että kuljetuskapasiteetin vähenemisen ja sähköjärjestelmien lisääntymisen kysymysten vastausten keskiarvot ovat hyvin lähellä mediaaneja. Akkujen määrää ja ajoneuvon säilyttämistä käsittelevissä kysymyksissä keskiarvot poikkeavat hieman mediaaneista, jolloin keskiarvoja on tarkasteltava kriittisesti. Vastausten hajonta oli pienintä kuljetuskapasiteettia, ajoneuvon säilytystä ja sähköjärjestelmien lisääntymistä mittaavien väitteiden tapauksissa, kuten kaaviosta 7 voidaan todeta. Näiden vastausten kvartiilipoikkeamat olivat 0,5. Akkujen määrän kriittisyyttä mittaavassa kysymyksessä vastausten hajonta oli edellä mainittuja suurempaa, mikä on havaittavissa kaavion 7 ohella vastausten kvartiilipoikkeamasta, joka oli 1. Korin epävakaan käytöksen kriittisyyttä mitanneen kysymyksen vastausten mediaani oli 2 ja lisäkoulutuksen vastausten mediaani 3. Ajoneuvon korin epävakaan käytöksen vastausten keskiarvo poikkeaa huomattavasti mediaanista, jolloin mediaanin tarkastelu keskilukuna on mielekkäämpää. Lisäkoulutusta arvioivan kysymyksen tapauksessa keskiarvo on hyvin lähellä mediaania, jolloin molempia voidaan tarkastella keskilukuna. Korin epävakaan käytöksen ja lisäkoulutuksen vastausten kvartiilipoikkeamat olivat 1. Mediaanien ja keskiarvojen perusteella lähes kaikkia esitettyjä hybridijärjestelmien ajoneuvon käyttäjälle muodostavia haasteita pidettiin melko kriittisinä ajoneuvon

käytön kannalta. Kriittisimpinä haasteina pidettiin akkujen määrän lisääntymistä, kuljetuskapasiteetin vähenemistä, ajoneuvon säilyttämiselle muodostuvia haasteita sekä sähköjärjestelmien lisääntymistä ajoneuvossa. Hybridijärjestelmän aiheuttamaan lisäkoulutuksen tarpeeseen suhtauduttiin neutraalisti ja korin epävakaa käytös arvioitiin vain vähän kriittiseksi haasteeksi.

Taulukko 20: "Ajoneuvon korin epävakaa käytös" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=15)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Ei-kriittinen	Neutraali	Kriittinen
Ajomukavuus ei ole kriittinen tekijä	2		
Hyötyihin verrattuna ei kriittinen	1		
Kompensoitava alustalla	1	1	1
Ei merkittävä muutos		1	
Vaikutus kallistuskulmaan	1		2
Kysymyksen asetelua tarkennettava			2
Asejärjestelmän toiminta liikkeestä			3
Yhteensä:	5	2	8

Ajoneuvon korin epävakaa käytöksen kriittisyyttä mitanneen kysymyksen avoimet vastaukset ryhminä on esitetty taulukossa 20. Avoimet vastaukset tukevat käsitystä, ettei haastetta pidetä kriittisenä. Esimerkiksi vaikutusta ajoneuvon miehistön mukavuuteen ei pidetty kriittisenä tekijänä vaan kriittisempää vastaajien mielestä oli, jos epävakaus vaikeuttaa merkittävästi asejärjestelmän käyttöä liikkeestä. Haasteen koettiin olevan myös kriittinen, jos se vaikuttaa merkittävästi suurimpaan kallistuskulmaan, jossa ajoneuvoa voidaan käyttää. Toisaalta vastauksissa todettiin, että haasteen vaikutus on minimoitava, koska epävakaa käytös on kompensoitavissa alustaratkaisulla. Näiden ohella yhdessä vastauksessa haastetta ei pidetty kriittisenä verrattuna saavutettaviin hyötyihin ja yhdessä vastauksessa epävakaa käytöksen lisääntymistä ei pidetty merkittävänä muutoksena. Kahden vastauksen tulokinnassa kävi ilmi, että vastaajien mielestä kysymyksen asetelua tarkennettava ja esimerkiksi haaste tulisi määritellä tarkemmin.

Taulukko 21: "Akkujen suuri määrä ajoneuvossa" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=18)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Ei-kriittinen	Neutraali	Kriittinen
Ei merkittävä muutos nykyiseen	4	1	
Taistelukentän vaarat merkittävämpiä	2	1	
Voi aiheuttaa yllättäviä tilanteita		1	
Haaste käytettävyydelle (lataus/huolto)			1
Haaste taistelunkestävyydelle			4
Haaste henkilöstön turvallisuudelle			4
Yhteensä:	6	3	9

Akkujen määrän lisääntymisen kriittisyyttä mitanneen kysymyksen avoimet vastaukset on koottu ryhmittäin taulukkoon 21. Vastaajat, jotka eivät pitäneet haastetta kriittisenä nostivat esille muun muassa, ettei kasvava akkujen määrä tuo merkittävää muutosta nykyiseen. Esimerkiksi akuston osastointi mainittiin tähän ryhmään sisältyvissä vastauksissa. Osassa vastauksia mainittiin myös, että taistelukentän aiheuttamat riskit ovat suurempia kuin akustosta aiheutuvat haasteet ajoneuvolle. Yhdessä vastauksessa haasteeseen suhtauduttiin neutraalisti, mutta akkujen suuren määrän todettiin voivan aiheuttaa yllättäviä tilanteita. Haastetta kriittisenä pitäneet vastaajat arvioivat akkujen määrän lisääntymisen aiheuttavan haasteita ajoneuvon taistelunkestävyydellä sekä henkilöstön turvallisuudelle. Esimerkiksi yhdessä vastauksessa mainittiin, että ampumatarvikkeet pyritään nykyisin sijoittamaan ajoneuvon ulkopuolelle, ettei niistä aiheudu riskiä ajoneuvon henkilöstölle ja samaa tulisi harkita akuston kanssa. Taistelunkestävyyttä käsitelleissä vastauksissa mainittiin muun muassa, että akkujen huolto ja varastointi on haaste jo nykyisellään ja niiden lisääntyvä määrä lisää haasteen merkitystä. Myös oikosulkujen aiheuttamat tulipalot mainittiin haasteena vauriontorjunnan näkökulmasta.

Taulukko 22: "Kuljetuskapasiteetin väheneminen" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=18)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Ei-kriittinen	Neutraali	Kriittinen
Kriittisyys riippuu mittakaavasta		2	1
Muu		1	3
Lisää ajoneuvojen määrää joukolla	1		3
Tilasta on puutetta jo nykyisellään			3
Riippuu ajoneuvon roolista			4
Yhteensä:	1	3	14

Taulukkoon yllä on koottu ajoneuvon kuljetuskapasiteetin vähenemisen haasteen avointen vastausten ryhmät. Näissä korostuivat vastaukset, joissa haaste arvioitiin kriittiseksi. Suurimman ryhmän muodostivat vastaukset, joissa kriittisyyden mainittiin riippuvan ajoneuvon roolista. Näiden tapauksessa haaste arvioitiin kriittiseksi, jos esimerkiksi ajoneuvoa käyttävä joukko ei kykene kuljettamaan tarvitsemaansa kalustoa mukanaan ajoneuvossa. Vastaavanlaisen ryhmän muodostivat vastaukset, joissa todettiin nykyisissä ajoneuvoissa hyödynnettävissä olevan tilan olevan vähäistä. Myös näissä vastauksissa haastetta pidettiin kriittisenä, koska tilan väheneminen nykyisestä koettiin muodostavan suuria haasteita ajoneuvoa käyttävälle joukolle. Kuljetuskapasiteetin vähenemisen nähtiin myös vaikuttavan joukon ajoneuvojen määrään. Tämän ryhmän vastauksissa yksi vastaaja ei pitänyt haastetta kriittisenä, koska vähentynyt kuljetuskapasiteettia voidaan kompensoida ajoneuvojen määrää lisäämällä. Muissa kyseiseen ryhmään sisällytetyissä vastauksissa ajoneuvomäärän lisääntyminen koettiin kuitenkin negatiivisena

asiana muun muassa huollon näkökulmasta. Neutraalisti haasteeseen suhtautuneiden avoimissa vastauksissa yhdistävänä tekijänä oli vähenemisen mittakaava. Toisin sanoen vähäistä kantaavuuden heikkenemistä ei pidetty kriittisenä. Ryhmään ”Muu” luokitelluista vastauksista ei ollut mahdollista muodostaa selkeitä ryhmiä. Yhdessä kyseiseen ryhmään kuuluvassa vastauksessa kritisoi kysymyksen asetteluun johdonmukaisuutta verrattuna hyötyjen yhteydessä esitettyyn väitteeseen ajoneuvon sisätilojen kasvamisesta.

Taulukko 23: "Ajoneuvon säilyttäminen/varastointi" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=16)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Ei-kriittinen	Neutraali	Kriittinen
Nykyinen infra riittävä	1		
En osaa sanoa		1	
Asialliset tilat rajalliset			1
Järjestely-/kustannuskysymys	1	2	3
Huomioitava käytettävyyden kannalta			7
Yhteensä:	2	3	11

Taulukossa 23 on esitetty ajoneuvon säilyttämiseen ja varastointiin liittyvän haasteen kriittisyyttä arvioivan kysymyksen avointen vastausten ryhmät. Niistä suurimman muodostivat vastaukset, joissa haastetta pidettiin kriittisenä etenkin ajoneuvon käytettävyyden kannalta. Näissä vastauksissa mainittiin lisääntyvien akkujen säilytystiloille asettamat vaatimukset muun muassa tilojen lämpötilalle. Esimerkiksi kylmien säilytystilojen todettiin lisänneen sähköongelmia nykyisessä kalustossa. Toiseksi suurimman ryhmän vastauksissa haasteen olevan järjestely- ja kustannuskysymys, joka todennäköisesti lisää hybridiajoneuvon hankintakustannuksia, koska soveltuva varastointi-infrastruktuuri on rakennettava ajoneuvojen hankinnan yhteydessä. Yhdessä näistä vastauksista haastetta ei pidetty kriittisenä ja kahdessa vastauksessa haasteeseen suhtauduttiin neutraalisti. Keskenään ristiriitaiset ryhmät muodostivat kaksi vastausta, joissa toisessa nykyisen infrastruktuurin todettiin riittävän hybridiajoneuvojen varastointiin ja toisessa asiallisen varastointitilan todettiin olevan rajallista. Nykyistä infrastruktuuria riittävänä pitävä vastaaja ei arvioinut haastetta kriittiseksi, kun taas tilojen rajallisuuden maininnut vastaaja koki haasteen kriittiseksi. Yhdessä vastauksessa vastaaja ei osannut ottaa kantaa haasteen kriittisyyteen.

Taulukko 24: "Sähköjärjestelmien lisääntyminen ajoneuvossa" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=15)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Ei-kriittinen	Neutraali	Kriittinen
Huoltotoimenpiteiden haastavuus	1		3
Aiheuttaa haasteita jo nykyisin		1	2
Varajärjestelmien hyödyntäminen (kahdentaminen/mekaaniset varajärjestelmät)		2	6
Yhteensä:	1	3	11

Taulukoon 24 on koottu sähköjärjestelmien lisääntymisen kriittisyyttä mitanneen kysymyksen avoimet vastaukset ryhmittäin. Vastauksissa korostuivat haastetta kriittisinä pitävien vastaajien näkemykset. Suurimman ryhmän muodostivat vastaukset, joissa mainittiin haasteen olevan kriittinen, mutta siihen pystyttävän vastaamaan komponenttien laadunhallinnalla, kriittisten komponenttien kahdentamisella ja mekaanisten varajärjestelmien käytöllä. Tähän ryhmään kuuluvissa vastauksissa mainittiin esimerkiksi nykyisen kaluston kanssa ilmenneet haasteet, kun sähköjärjestelmälle ei ole mekaanista varajärjestelmää. Toiseksi suurimman ryhmän vastauksissa mainittiin lisääntyvien sähköjärjestelmien aiheuttamat haasteet ajoneuvon huollolle. Yksi tähän ryhmään kuuluvista vastaajista arvio haasteen kriittisyyden riippuvan keskeisesti siitä, kuinka paljon erityisosaamista lisääntyvät sähköjärjestelmät vaativat ajoneuvon käyttäjältä ja huoltohenkilöstöltä. Kolmannen ryhmän muodostivat vastaukset, joissa ajoneuvojen sähköjärjestelmien todettiin aiheuttavan haasteita jo nykyisen kaluston tapauksessa. Näissä vastauksissa ei kuitenkaan mainittu varajärjestelmien merkitystä, kuten suurimmassa vastausten ryhmässä.

Taulukko 25: "Hybridijärjestelmän käytön aiheuttama tarve henkilöstön lisäkoulutukselle" avoimet vastaukset ryhmittäin (n=15)

Ryhmä	Frekvenssi		
	Ei-kriittinen	Neutraali	Kriittinen
Ei poikkea merkittävästi nykyisen kaluston kouluttamisesta	4	4	
Ei lisää tarvetta kunnossapitohenkilöstölle	1		
Vaatii lisää järjestelmähenkilöstöä		1	
Haaste nykyresurssein		1	
Tekniikan monimutkaistuminen aiheuttaa haasteita koulutukselle/käyttäjahuollolle			4
Yhteensä:	5	6	4

Taulukossa 25 on esitetty lisäkoulutuksen kriittisyyttä mitanneen kysymyksen avoimet vastaukset ryhmittäin. Avoimissa vastauksissa haastetta pidettiin pääosin vähäisenä. Suurin osa avoimia vastauksia antaneista vastaajista koki, ettei hybridiajoneuvon henkilöstön kouluttaminen

juuri poikkeaa nykyisten järjestelmien kouluttamisesta. Lisäksi esimerkiksi osassa vastauksia mainittiin, että lisäkoulutus tulee kyseeseen käytännössä jokaisen uuden järjestelmän kanssa. Avoimista vastauksista muodostui myös kaksi keskenään ristiriitaista ryhmää, joihin sisältyi yhteensä kaksi vastausta. Näissä toisessa koettiin, ettei hybridijärjestelmien hyödyntäminen lisää merkittävästi tarvetta kunnossapitohenkilöstölle nykyisestä ja toisessa palkatun järjestelmähenkilöstön määrän koettiin lisääntyvän, jos hybridijärjestelmää hyödyntäviä ajoneuvoja otetaan käyttöön. Kuitenkin palkatun järjestelmähenkilöstön määrän lisääntymisen maininnut vastaaja arvioi haasteen neutraaliksi. Kriittisimmin haasteeseen suhtautuvien vastaajien ryhmään kuuluvien vastauksissa yhteisenä tekijänä korostui tekniikan monimutkaistumisen vaikutukset ajoneuvon käyttäjälle. Näiden yhteydessä mainittiin muun muassa käyttäjätason huolto, joka on suoritettava kenttäolosuhteissa. Ajoneuvon miehistön koulutukselle koettiin aiheuttavan haasteita, jos henkilöstön on osattava korjata esimerkiksi sähköpiirejä.

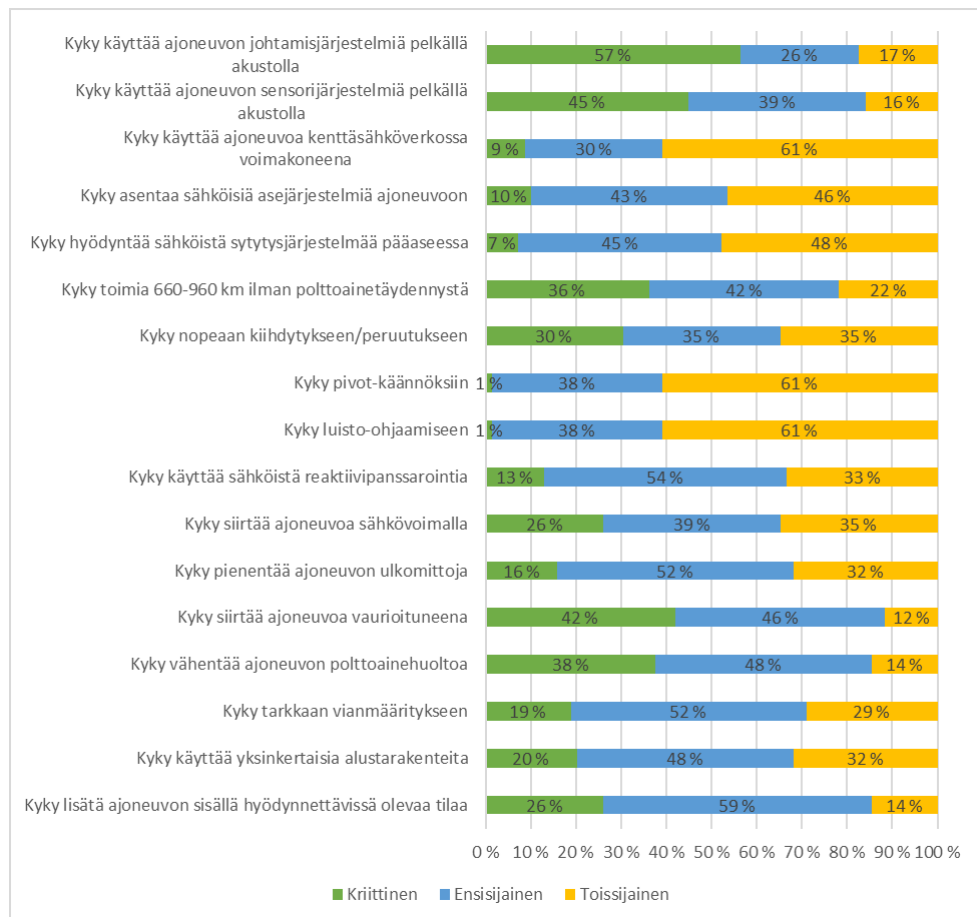
Taulukko 26: "Tuleeko mieleenne muita haasteita, joita ei mainittu edellä?" vastaukset ryhmittäin (n=10)

Ryhmä	Frekvenssi
Huollolliset haasteet	7
Ajoneuvon järjestelmien monimutkaisuus	1
Suojaus ELSO:a vastaan	1
Ei lisättävää	1

Strukturoitujen kysymysten yhteydessä kerättyjen avointen vastausten lisäksi vastaajia pyydettiin kirjaamaan haasteita, joita ei kyselyssä mainittu. Taulukkoon 26 on koottu tämän kysymyksen vastaukset ryhmittäin. Kysymykseen vastasi kymmenen vastaajaa. Heidän vastauksistaan muodostettiin ryhmiä vastauksen sisällön mukaisesti. Suurimman ryhmän muodostivat vastaukset, joissa ajoneuvon huoltoon liittyvät haasteet mainittiin keskeisinä ongelmina. Etenkin vastauksissa pohdittiin, kuinka laajasti ajoneuvon miehistö pystyy korjaamaan ajoneuvon vikoja ja huoltamaan ajoneuvoa kenttäolosuhteissa etenkin poikkeusoloissa. Lisäksi kunnossapidon haasteita pohdittiin yksikkö- ja joukkoyksikkötasan näkökulmasta. Samaan ryhmään kuuluvissa vastauksissa mainittiin myös esimerkiksi akkuhuollon haastavuus sekä sotilasajoneuvojen ”testaamattomuus”, jolloin vikojen ja suunnitteluvirheiden havaitseminen jää käyttäjän vastuulle. Tämän koettiin aiheuttavan muiden ohella huollollisia haasteita ajoneuville. Muut ryhmät muodostuivat yksittäisistä vastauksista, joissa haasteeksi nähtiin ajoneuvon järjestelmien kasvava monimutkaisuus ja mahdollinen haavoittuvuus elektroniselle sodankäynnille. Yhdessä vastauksessa todettiin, ettei lisättävää ole.

4.3.3. Kyvykkyyksien kriittisyys

Kyselyn vastaajia pyydettiin arvioimaan kyselylomakkeen ensimmäisessä osassa esitettyjen kyvykkyyksien kriittisyyttä puolustusvoimissa käytössä olevalla kolmiportaisella asteikolla, joka koostuu kriittisistä, ensisijaisista ja toissijaisista kyvykkyyksistä. Vastaajat arvioivat jokaisen kyvykkyyden osalta erikseen kyvykkyyden prioriteetin. Kaaviossa 8 esitetään vastausten prosenttijakaumat kyvykkyyksittäin.



Kaavio 8: Kyvykkyyksien prioriteetit (n=69)

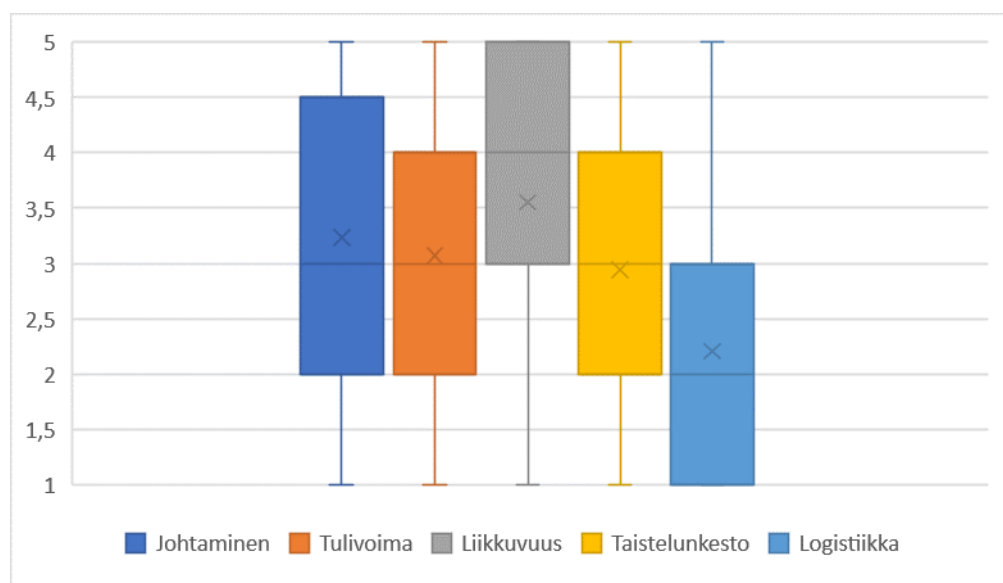
Kyvykkyyksien prioriteettia mitanneiden kysymysten vastausten jakaumasta voidaan päätellä, että vastaajat pitävät kriittisimpinä kyvykkyyksinä ajoneuvon johtamis- ja sensorijärjestelmien käyttöä pelkällä akustolla. Lähes yhtä kriittisinä pidettiin ajoneuvon liikkuvuuteen, taistelunkeston ja logistiikkaan liittyviä kyvykkyyksiä, kuten toimintasäteen paranemista, ajoneuvon siirtämistä vaurioituneena ja polttoainehuollon vähentämistä. Myös noin kolmasosa vastaajista piti taktista liikkuvuutta parantavaa kykyä lisätä ajoneuvon kiihtyvyyttä verrattuna perinteiseen ajoneuvoon kriittisenä ominaisuutena. Kuitenkin näiden ominaisuuksien tapauksessa suurin osa vastaajista piti niitä ensisijaisina kyvykkyyksinä, joiden puuttuminen ei ole merkityksellinen ajoneuvon tehtävän suorittamisen kannalta.

Edellä mainittujen liikkuvuuteen, taistelunkeston ja logistiikkaan liittyvien kyvykkyyksien lisäksi ensisijaisina kyvykkyyksiä pidettiin ominaisuuksia, kuten sähköisen reaktiivipanssaroinnin hyödyntäminen, ajoneuvon siirtäminen sähkövoimalla, ajoneuvon ulkomittojen pienentäminen, ajoneuvon sisällä olevan tilan lisääminen, yksinkertaisten alustarakenteiden käyttäminen sekä kyky tarkkaan vianmääritykseen. Näitä ei siis pidetty kriittisinä ajoneuvon tehtävän suorittamisen kannalta, mutta ominaisuuksien voidaan todeta olevan hyödyllisiä ajoneuvon toiminnan kannalta.

Vähiten tärkeinä eli toissijaisina kyvykkyyksinä esitetyistä pidettiin etenkin taktista liikkuvuutta mahdollisesti parantavia uusia ohjaustiloja. Sekä pivot-käännösten että luisto-ohjaamisen osalta lähes kaksi vastaajaa kolmesta piti ominaisuuksia toissijaisina. Sama päti kykyyn hyödyntää ajoneuvoa kenttä sähköverkossa voimakoneena. Sähköisten asejärjestelmien ja pääaseen sähköisen sytytysjärjestelmän tapauksessa kyvykkyyksiä ensisijaisina ja toissijaisina pitäviä vastaajia oli lähes yhtä paljon. Kuitenkin molemmissa tapauksissa hieman suurempi osuus vastaajista piti näitä kyvykkyyksiä toissijaisina ominaisuuksina ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta.

4.3.4. Taktisen suorituskyvyn osa-alueiden tärkeysjärjestys

Kyselyn vastaajia pyydettiin arvioimaan taktisen suorituskyvyn osa-alueiden tärkeysjärjestystä panssaroidun pyöräalustaisen taisteluajoneuvon näkökulmasta. Kysymyksen tavoitteena oli saada näkemys siitä, mitä osa-aluetta pidetään ajoneuvon kannalta tärkeimpänä. Kaaviossa 9 on esitetty osa-alueiden tärkeysjärjestyksen järjestystunnusluvut sekä keskiarvot laatikko- ja nakaaviossa.



Kaavio 9: Taktisen suorituskyvyn tärkeysjärjestyksen tunnusluvut (n=69)

Vastausten mediaanit jakautuivat siten, että liikkuvuuden osa-alueen mediaani oli 4, johtamisen, tulivoiman ja taistelunkeston osa-alueiden mediaanit olivat 3. Logistiikan osa-alueen mediaani oli 2. Suurinta hajonta oli johtamisen osa-alueen vastauksissa. Vastausten mediaaneja tarkastelemalla voidaan todeta, että tärkeimpänä taktisen suorituskyvyn osa-alueena pyöräalustaisessa taistelujoneuvossa pidetään liikkuvuutta. Mediaanien perusteella johtamisen, tulivoiman ja taistelunkeston osa-alueet arvioidaan yhtä tärkeiksi. Tarkastelemalla näiden vastausten keskiarvoja voidaan kuitenkin todeta, että johtamisen osa-aluetta pidettiin toiseksi tärkeimpänä osa-alueena. Kolmanneksi tärkeimmäksi osa-alueeksi luokiteltiin tulivoima ja neljänneksi taistelunkesto. Vähiten tärkeänä osa-alueena pidettiin logistiikkaa.

4.3.5. Kyselyn sisäinen konsistenssi

Kyselyn sisäistä konsistenssia arvioitiin tarkastelemalla hyötyjen tärkeyttä mitanneita väitteitä. Näitä mitattiin kahdella erillisellä osalla hieman toisistaan poikkeavilla kysymyksillä. Näiden vastausten väliset korrelaatiokertoimet on esitetty taulukossa 27. Taulukossa on esitetty sekä Pearsonin korrelaatiokertoimet että Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimet, joita tarkastellaan, koska järjestysasteikollisilla muuttujilla Pearsonin korrelaatiokertoimet voivat vääristyä. Niitä tarkastelemalla voidaan todeta, että tärkeinä pidetyt hyödyt on arvioitu myös kriittisiksi vaatimuksiksi. Vastaavasti vähemmän tärkeinä pidettyjä hyötyjä on pidetty toissijaisina vaatimuksina. Korrelaatiokertoimien tilastollinen merkitsevyys testattiin laskemalla korrelaatiolle p-arvo, jonka laskenta perustuu kaavan 1.3 testimuuttujaan. Lasketut p-arvot on esitetty liitteessä 3.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (1.3) [70, s. 104, 115]$$

Taulukko 27: Hyötyjen tärkeyttä mitanneiden kysymysten korrelaatiokertoimet

Kysymys	Pearson	Spearman
Kyky käyttää ajoneuvon johtamisjärjestelmiä pelkällä akustolla	0,49	0,45
Kyky käyttää ajoneuvon sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla	0,56	0,56
Kyky käyttää ajoneuvoa kentäsähköverkossa voimakoneena	0,68	0,67
Kyky asentaa sähköisiä aseljärjestelmiä ajoneuvoon	0,45	0,44
Kyky hyödyntää sähköistä syytysjärjestelmää pääaseessa	0,41	0,41
Kyky toimia 660-960 km ilman polttoainetäydennystä	0,69	0,69

Kyky nopeaan kiihdytykseen/peruutukseen	0,61	0,62
Kyky pivot-käännöksiin	0,58	0,60
Kyky luisto-ohjaamiseen	0,57	0,58
Kyky käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia	0,56	0,56
Kyky siirtää ajoneuvoa sähkövoimalla	0,52	0,52
Kyky pienentää ajoneuvon ulkomittoja	0,43	0,43
Kyky siirtää ajoneuvoa vaurioituneena	0,37	0,42
Kyky vähentää ajoneuvon polttoainehuoltoa	0,62	0,59
Kyky tarkkaan vianmääritykseen	0,52	0,53
Kyky käyttää yksinkertaisia alustarakenteita	0,39	0,33
Kyky lisätä ajoneuvon sisällä hyödynnettävissä olevaa tilaa	0,42	0,41

Taulukossa 28 esitetään taktisen suorituskyvyn osa-alueiden mukaisesti ryhmiteltyjen kysymysten korrelaatioiden keskiarvojen perusteella lasketut Cronbachin alfan arvot. Näiden perusteella voidaan päätellä, että hyötyjen tärkeyttä arvioivien kysymysten sisäinen yhtenäisyys on hyvällä tasolla. Ainoastaan tulivoiman osa-alueen hyötyjen tärkeyttä mitanneiden kysymysten osalta Cronbachin alfan arvo on käytännössä hyvän reliaabeliuden alarajalla. Tähän voi osaltaan vaikuttaa se, että tulivoiman osa-alue sisälsi vain kaksi väittämää.

Taulukko 28: Cronbachin alfan arvot hyötyjä mitanneille kysymyksille

Osa-alue	Pearson	Spearman
Johtaminen	0,80	0,79
Tulivoima	0,60	0,60
Liikkuvuus	0,86	0,87
Taistelunkesto	0,78	0,79
Logistiikka	0,79	0,78

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa selvitettiin hybriditeknologioiden käytön hyötyjä ja haasteita panssaroiduissa ajoneuvoissa. Hyödyistä muodostettiin kyvykkyyksiä, joiden tärkeyttä selvitettiin kyselyllä panssaroitujen ajoneuvojen asiantuntijoilta puolustusvoimissa. Kyselyssä selvitettiin myös vastaajien suhtautumista hybridijärjestelmien käytöstä aiheutuviin haasteisiin. Kyvykkyyksien muodostamista varten tutkimuksessa tarkasteltiin myös puolustusvoimien suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessia sekä siihen liittyviä vaatimustenhallintaa ja sotilaallisen suorituskyvyn käsitettä.

Puolustusvoimissa joukkojen ja järjestelmien kehittämistä ohjataan suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessilla, jonka vaatimukset tulevat puolustusvoimien ensimmäisestä pääprosessista suorituskyvyn suunnittelu ja kehittäminen. Suorituskyvyn rakentamiseen ja ylläpitoon liittyy keskeisesti vaatimustenhallinta, jonka keinoilla on mahdollista muodostaa selkeitä ja mitattavissa olevia vaatimuksia. Vaatimustenhallinnan kanssa hyödynnetään sotilaallisen suorituskyvyn käsitettä, jossa määritellään suorituskyvyn osa-alueet ja vaatimusten hierarkia. Joukkojen ja järjestelmien rakentamisessa on keskeistä edetä käsitteelliseltä tasolta ja toteutusriippumattomista kokonaisuuksista kohti ratkaisuja, joilla halutut vaikuttavuudet ja kyvykkyydet saavutetaan. Tällöin heti prosessin alkuvaiheessa ei rajata pois ratkaisuja, joilla haluttu suorituskyky on mahdollista saavuttaa.

Kirjallisuusselvityksen perusteella hybridijärjestelmien sotilasajoneuvoille tarjoamina hyötyinä pidetään yleisesti liikkuvuutta parantavia kyvykkyyksiä, kuten polttoaineenkulutuksen pieneenemistä ja parantunutta kiihtyvyyttä. Vaikka hybridiajoneuvojen polttoainesäätöä on tutkittu esimerkiksi simuloimalla ja prototyypiajoneuvoilla, simulaatioiden tarkkuuteen vaikuttaa sotilassovelluksiin soveltuvan mittausmallin puuttuminen. Lisäksi esimerkiksi Naton AECV-tutkimuksessa käytetyt prototyypiajoneuvot olivat maastohenkilöautoja, joiden havainnoituja polttoainesäätöjä ei voida suoraan yleistää isompiin ajoneuvoihin. Polttomoottorin optimoinnilla ja esimerkiksi jarrutusenergian talteenotolla voidaan kuitenkin parantaa myös isompien ajoneuvojen polttoainetehokkuutta. Hybridijärjestelmän käytöllä saavutettava parantunut kiihtyvyys on Jenoptik-yrityksen testien mukaan todennettu myös 8x8-alustaisella panssaroidulla pyöräajoneuvolla.

Ajoneuvon liikkuvuutta parantavien hyötyjen ohella hybridijärjestelmien käytöllä on tutkimuksien mukaan mahdollista parantaa myös ajoneuvon tulivoimaa ja suojaa. Hybridijärjestelmien mukana ajoneuvossa olevan sähköenergian määrä kasvaa, jolloin ajoneuvoon voidaan asentaa sähköenergiaa hyödyntäviä suoja- ja asejärjestelmiä. Tällaisia ovat muun muassa sähköinen reaktiivipanssarointi sekä suunnatun energian aseet, joiden käytön arvioidaan lisääntyvän

tulevaisuudessa esimerkiksi lennokkien torjunnassa. Lisääntyntä sähköenergiaa voidaan tulivoiman ja suojan ohella hyödyntää myös kenttä sähköverkkojen sähköistämässä sekä ajoneuvoa käyttävien joukkojen sähkölaitteiden lataamisessa.

Ajoneuvon tulivoimaan ja suojaan liittyvien parannusten ohella hybriditeknologian käytöllä arvioidaan olevan hyötyjä ajoneuvon suunnittelun näkökulmasta. Ajoneuvon voimalinjan koon optimoinnin ja alustarakenteiden yksinkertaistamisen avulla ajoneuvon sisätilojen hyödyntämistä on mahdollista parantaa. Lisäksi ajoneuvon ulkomittoja voidaan pienentää sähköistä voimansiirtoa käyttävässä ajoneuvossa. Käytettävissä olevan tilan määrä riippuu kuitenkin hybridijärjestelmän rakenteesta sekä ajoneuvon akuston koosta.

Hyötyjen ohella hybriditeknologian soveltamisessa sotilasajoneuvoissa aiheutuu myös haasteita. Teknisiä haasteita aiheuttavat muun muassa hybridijärjestelmässä tarvittavien sähkökomponenttien soveltuvuus sotilasajoneuvojen toimintaympäristöön. Muun muassa komponenttien lämmönhallinta on haastavaa sotilasajoneuvoissa. Tämän ohella sähköenergian varastointi ajoneuvossa on haastavaa. Esimerkiksi nykyisen akkuteknologian energiatiheys on rajoittanut siten, että myös litiumioniakkujen tapauksessa akuston paino aiheuttaa haasteen muun muassa ajoneuvojen kantavuuden kannalta. Tämä siitakin huolimatta, että sähköisen voimansiirron avulla ajoneuvossa voidaan käyttää yksinkertaisia alustarakenteita ja vähentää näiden painoa.

Tekniset haasteet aiheuttavat haasteita myös ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta. Sarjahybridiajoneuvossa, jossa hyödynnetään napamoottoreita, jousittamattoman massan lisääntyminen voi aiheuttaa ajoneuvon korin epävakaa käytöstä ja lisätä ajoneuvon henkilöstöön kohdistuvia voimia, mikä muun muassa vähentää ajomukavuutta. Korin epävakaa käytös voi aiheuttaa myös haasteita ajoneuvon asejärjestelmän käytölle ja asettaa vaatimuksia vakautusjärjestelmän toiminnalle.

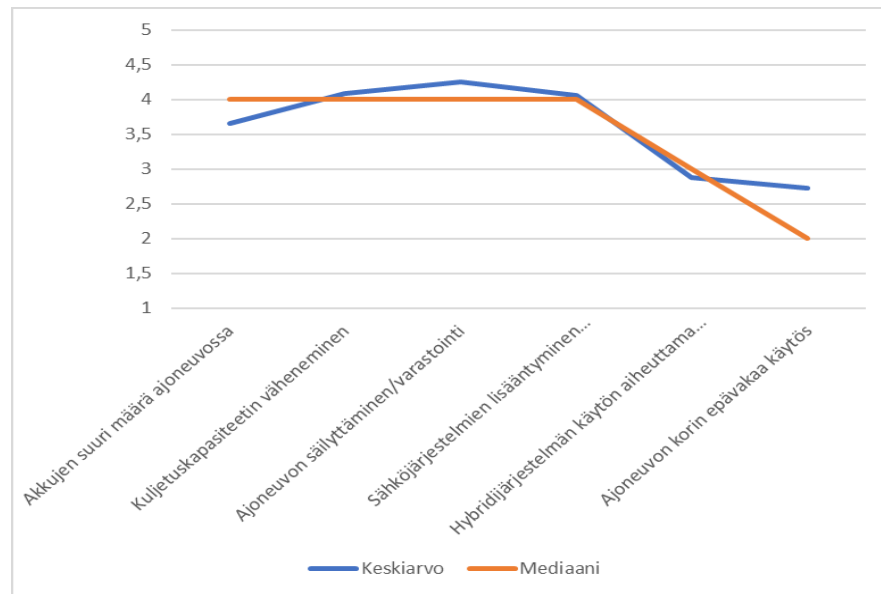
Hybridijärjestelmän hyödyntäminen sotilasajoneuvossa lisää entisestään ajoneuvon akustojen määrää. Tämä voi aiheuttaa haasteita ajoneuvon henkilöstölle esimerkiksi turvallisuuden ja ajoneuvon säilytykseen liittyvien asioiden takia. Akustoon varastoitu sähköenergia voi akuston vaurioituessa aiheuttaa vaaratilanteita ajoneuvon henkilöstölle. Akuston ajoneuvon säilytykselle asettamat vaatimukset muodostavat haasteita etenkin normaalioloissa, jolloin ajoneuvo voi olla varastoituna pitkiäkin aikoja ilman käyttöä. Tällöin esimerkiksi ajoneuvon säilytyslämpötilasta on huolehdittava, jotta akuston suorituskyky säilyy mahdollisimman hyvänä.

pääkäyttötarkoitukseen, kuten jalkaväen taistelujen tukemiseen. Voimakonekäytön sijasta tärkeämmäksi koettiin mahdollisuus ladata ajoneuvon tukeutuvien taistelijoiden sähköisten järjestelmien akkuja suoraan ajoneuvossa.

Taistelujoneuvon kannalta kolmanneksi tärkeimmäksi osa-alueeksi arvioitun tulivoiman kyvykkyyksiin suhtauduttiin kyselyssä neutraalisti. Esimerkiksi sähköisten asejärjestelmien merkityksen mainittiin lisääntyvän tulevaisuudessa, mutta niiden käyttöönoton ei arvioitu tapahtuvan lähitulevaisuudessa. Myös sähköisen sytytysjärjestelmän käyttöön suhtauduttiin neutraalisti, todennäköisesti osittain siksi, että vastaavanlaisen kyvykkyyden todettiin olevan jo käytössä tietyissä ajoneuvoissa.

Taistelunkeston osa-alue arvioitiin neljänneksi tärkeimmäksi. Osa-alueen kyvykkyyksistä yhtenä tärkeimmistä hyödyistä pidettiin kykyä siirtää ajoneuvoa vaurioituneena. Hyötyä pidettiin tärkeänä, vaikka kysymyksen yhteydessä nostettiin esille perinteisen ajoneuvon vastaava kyvykkyys. Lisäksi kyky pienentää ulkomittoja ajoneuvon suunnittelun yhteydessä arvioitiin tärkeäksi kyvykkyydeksi myös ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta. Vastausten perusteluissa mainittiin muun muassa pienemmän maalin olevan parempi taistelukentällä ja nykyisten pyöräajoneuvojen olevan melko suurikokoisia. Tämän ohella suojaa parantavista kyvykkyyksistä mahdollisuutta asentaa sähköinen reaktiivipanssarointi ajoneuvon arvioitiin tärkeäksi mahdollisuudeksi. Myös hybridijärjestelmän tarjoamaa mahdollisuutta ajaa ajoneuvoa pelkällä sähkövoimalla pidettiin tärkeänä ominaisuutena. Kuten tilannetietoisuutta parantavien kyvykkyyksien tapauksessa, myös pelkällä sähkövoimalla ajamisen koettiin vähentävän ajoneuvon havaittavuutta.

Logistiikan osa-alue arvioitiin vähiten tärkeäksi taistelujoneuvon kannalta. Kuitenkin siihen luokitelluista hyödyistä jokaista pidettiin tärkeänä kyvykkyytenä ajoneuvon käyttäjän kannalta. Näiden vastausten keskiarvojen perusteella tärkeimpiä ominaisuuksia näistä olivat kyky vähentää ajoneuvon polttoainehuoltoa ja lisätä ajoneuvossa hyödynnettävissä olevan tilan määrää. Lähes yhtä tärkeiksi arvioitiin myös kyky käyttää yksinkertaisia alustarakenteita ajoneuvossa sekä kyky tarkentuneeseen diagnostiikkaan.



Kaavio 11: Hybridijärjestelmien haasteiden kriittisyysjärjestys mediaanin mukaan

Hybriditeknologioiden hyödyntämisen aiheuttamia haasteita pidettiin pääsääntöisesti kriittisinä ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta. Kaaviossa 11 on esitetty haasteiden kriittisyyttä mitanneiden kysymysten vastaukset kriittisyysjärjestyksessä mediaanin mukaan järjestettynä. Kriittisimpinä haasteina pidettiin mahdollista kuljetuskapasiteetin vähenemistä ja ajoneuvon säilyttämiselle syntyviä haasteita. Kuljetuskapasiteetin väheneminen koettiin merkittäväksi muun muassa, koska nykyisten ajoneuvojen kuljetuskapasiteetti koettiin olevan jo ääri rajoilla. Säilyttämiseen liittyvät haasteet koettiin haasteeksi etenkin normaalioloissa, joissa infrastruktuurin kehittäminen koettiin syövä resursseja muun muassa ajoneuvojen hankinnalta.

Näiden ohella sähköjärjestelmien lisääntyminen ajoneuvossa koettiin kriittisenä haasteena. Sähköjärjestelmien lisääntyminen koettiin lisäävän muun muassa ajoneuvon vikaherkkyyttä. Lisäksi akkumäärän lisääntyminen, joka vaikuttaa osaltaan myös ajoneuvon kuljetuskapasiteettiin, koettiin kriittisenä haasteena. Kysymyksen avoimissa vastauksissa kriittisyyttä perusteltiin muun muassa henkilöstön turvallisuudella sekä ajoneuvon taistelunkestävyydelle. Akkujen määrään otettiin kantaa myös osassa hyötyjä käsitelleiden kysymysten vastauksissa, joissa akuston mitoittamisen todettiin aiheuttavan haasteita esimerkiksi ajoneuvon kantavuudelle. Sen sijaan esitetyistä haasteista ajoneuvon korin epävakaata käytöstä ei pidetty kriittisenä. Myöskään henkilöstön lisäkoulutuksen tarvetta ei pidetty kriittisenä haasteena, vaan sen todettiin olevan osa jokaisen uuden järjestelmän käyttöönottoa.

Panssaroitujen ajoneuvojen käyttäjät suhtautuvat pääsääntöisesti positiivisesti hybriditeknologioiden käyttöön panssaroiduissa pyöräajoneuvoissa. Lähes kaikki hybriditeknologioiden käytöllä saavutettavat hyödyt arvioitiin käyttäjän näkökulmasta melko tärkeiksi. Liikkuvuus

arvioitiin tärkeimmäksi osa-alueeksi pyöreealustaisen, panssaroidun pyöreeajoneuvon tapauksessa. Liikkuvuutta parantavia hyötyjä voidaan siis pitää ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta tärkeimpinä hybriditeknologioiden hyötyinä. Huomioitavaa on kuitenkin, että taktista liikkuvuutta parantaviin ohjaustiloihin suhtauduttiin neutraalisti. Liikkuvuutta parantavien kyvykkyyksien ohella johtamisen kyvykkyyksiin sisältyneet kyvyt käyttää ajoneuvon johtamis- ja sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla voidaan todeta olevan tärkeimpiä ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta. Nämä kyvykkyydet olivat muun muassa ainoat, jotka arvioitiin kriittisiksi kyvykkyyksiksi eli sellaisiksi, joilla on kriittinen merkitys tehtävän suorittamisen kannalta.

Tulivoiman ja taistelunkeston kyvykkyydet voidaan nähdä johtamisen osa-alueen kyvykkyyksien kanssa lähes yhtä tärkeinä ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta. Näiden tarkastelussa on kuitenkin huomioitavaa se, että etenkin hybriditeknologioiden tarjoamiin mahdollisuuksiin ajoneuvon tulivoiman parantamiseksi suhtaudutaan toistaiseksi neutraalisti. Taistelunkeston vaikuttavat hyödyt taas voidaan arvioida ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta melko tärkeiksi.

Logistiikan osa-alueen käyttäjät arvioivat vähiten tärkeäksi taisteluaajoneuvon kannalta. Kuitenkin kaikkia logistiikkaan liittyviä hyötyjä pidettiin ajoneuvon käyttäjän kannalta melko tärkeinä. Lisäksi vastaajat olivat näiden hyötyjen tärkeydestä keskenään samaa mieltä, koska vastausten hajonnat olivat koko kyselyn pienimpiä. Tästä syystä lienee syytä huomioida logistiikan osa-alueen hyödyt myös tärkeinä ajoneuvon käyttäjän näkökulmasta, vaikka osa-alue itsessään määriteltiin vähiten tärkeäksi taisteluaajoneuvon kannalta.

Saavutettavia hyötyjä ei voida arvioida pelkästään niiden koetun tärkeyden pohjalta, vaan on tarkasteltava myös käyttäjien suhtautumista hybridijärjestelmien käytöllä aiheutuviin haasteisiin. Näistä lähes kaikki arvioitiin melko kriittisiksi ajoneuvon käyttäjän kannalta. Etenkin ajoneuvon järjestelmien koettu monimutkaisuus ja sähköjärjestelmien lisääntyminen koettiin kriittisiksi haasteiksi. Myös akkujen määrän lisääntyminen ja siitä aiheutuva mahdollinen heikentynyt kuljetuskapasiteetti arvioitiin melko kriittisiksi ajoneuvon käytön kannalta. Näistä syistä hybridijärjestelmän hyödyntäminen pyöreealustaisessa taisteluaajoneuvossa on nähtävä kompromissina, jonka onnistumisessa keskeisessä roolissa on suorituskyvyn rakentamisen ja ylläpidon prosessi sekä vaatimustenhallinta. Haasteiden minimoimiseksi ajoneuvon käyttötilanteet ja -tarkoitukset on määriteltävä selkeästi. Tähän vaikuttaa keskeisesti myös ajoneuvoa käyttävä organisaatio.

Huonolla vaatimusmäärittelyllä hybridijärjestelmien haasteet voivat kasvaa hyötyjä suuremmiksi. Tällainen tilanne voi aiheutua vaatimuksesta käyttää ajoneuvon järjestelmiä liian pitkiä aikoja pelkällä akustolla tai vaatimuksesta ajoneuvon ajamiseen pelkällä sähköllä liian pitkiä matkoja. Tällöin ajoneuvon hybridijärjestelmän akuston koko kasvaa hyvin suureksi, mikä

vähentää muun muassa ajoneuvon kantavuutta, vaikuttaa mahdollisesti ajoneuvoon asennettavissa oleviin suojajärjestelmiin (ml. panssarointi) sekä heikentää ajoneuvon suorituskykyä.

5.1. Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuutta arvioidessa keskeisiä käsitteitä ovat reliaabelius ja validius. Näiden avulla voidaan arvioida tutkimuksen laatua. Reliaabeliudella tarkoitetaan mittaustulosten toistettavuutta. Toisin sanoen, jos toinen tutkija toistaa tutkimuksen, hän päätyy samankaltaisiin tuloksiin ja johtopäätöksiin alkuperäisen tutkimuksen kanssa. Validiudella taas tarkoitetaan valitun mittarin tai tutkimusmenetelmän kykyä mitata sitä, mitä oli tarkoituskin mitata. Jotta tämä olisi mahdollista, tulee etenkin tutkimusmetodeja arvioida kriittisesti. [23, s. 231]

Tutkimusmenetelmien valinnassa päädyttiin käyttämään menetelmätriangulaatiota, jolla on mahdollista parantaa tutkimuksen validiutta [23, s. 233]. Tutkimuksen teoriapohjan muodostamiseen käytetyllä kirjallisuusselvityksellä oli mahdollista koostaa aiemmissä tutkimuksissa esille tulleita hybriditeknologioiden hyötyjä ja haasteita. Kirjallisuusselvitys soveltui menetelmänä tähän hyvin. Sen tuloksia olisi kuitenkin voinut tarkentaa esimerkiksi asiantuntijahaastatteluilla. Ajoneuvojen käyttäjien näkökulmien selvittämiseen valittiin käytettäväksi kysely, koska tavoitteena oli saada mahdollisimman laaja otos puolustusvoimien panssaroitujen ajoneuvojen asiantuntijoista. Myös tässä yhteydessä haastatteluilla olisi saanut selvitettyä haluttuja näkemyksiä hybriditeknologioiden hyötyihin ja haasteisiin. Haastatteluiden järjestäminen olisi kuitenkin ollut kyselyn teettämistä työläämpää ja lisäksi haastateltavien otos kyselyä huomattavasti pienempi. Tästä syystä kyselytutkimuksen toteuttaminen on perusteltua tässä tutkimuksessa.

Hybriditeknologioiden käytöllä olevat hyödyt ja haasteet sotilassovelluksissa ovat hyvin samankaltaisia useista eri lähteistä, joten kirjallisuusselvityksen tuloksia voidaan pitää melko luotettavina. Niiden luotettavuuden arvioinnissa on kuitenkin huomioitava, että osa lähteistä on melko vanhoja. Tämä vähentää lähteiden ajantasaisuutta etenkin hybriditeknologioiden teknisten haasteiden osalta, koska teknologinen kehitys on voinut vähentää vaikutusta osassa haasteita. Lisäksi hyötyjen ja haasteiden arvioinnissa on toistaiseksi käytetty simulointia ja prototyyppiajoneuvoja, eikä operatiivista kokemusta hybridiajoneuvojen käytöstä sotilassovelluksissa juurikaan ole. Tästä syystä saavutettavat hyödyt voivat olla vähäisempiä kuin tutkimuksessa esitetään ja etenkin kaikkia ajoneuvon käyttäjälle aiheutuvia haasteita todennäköisesti ole tässä tutkimuksessa otettu huomioon.

Kyselytutkimuksen tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että sen tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina eikä niistä voida sellaisenaan muodostaa vaatimuksia hybridijärjestelmää hyödyntävälle ajoneuvolle. Kyselyssä vastaajia pyydettiin arvioimaan kyvykkyyksien tärkeyttä

pyöralustaisen taisteluajoneuvon näkökulmasta, eikä esimerkiksi ajoneuvoa käyttävää organisaatiota määritelty. Muun muassa tästä syystä ajoneuvon käyttäjien suhtautuminen hybridijärjestelmien tarjoamiin hyötyihin ja haasteisiin voi muuttua tarkasteltavan ajoneuvotyypin ja ajoneuvoa käyttävän organisaation myötä. Tämä käy ilmi myös kyselyn avoimista vastauksista, joissa osassa mainittiin tiettyjen kyvykkyyksien kohdalla, että ominaisuuden tärkeys riippuu ajoneuvon roolista. Tästä syystä esimerkiksi viestiajoneuvon kannalta hybridijärjestelmien käytön hyödyistä voivat korostua eri kokonaisuudet kuin tässä tutkimuksessa käsitellyssä jalkaväen taisteluajoneuvossa.

Osasta kyselyn avoimista vastauksista kävi myös ilmi, ettei kaikkien kysymysten asettelu ollut onnistunut yksikäsitteisesti. Tämä aiheuttaa myös virhettä kyselyn tulosten tarkkuudelle, koska vastaajat eivät todennäköisesti ole ymmärtäneet kysymyksiä samalla tavalla. Kyselyn testauksessa nämä seikat eivät nousseet esille. Tämän osalta tutkimuksen luotettavuutta olisi voinut parantaa liittämällä kyselyyn lyhyt tietopaketti, jossa kyselyn käsitteitä ja perusteluja kyselyssä esitetyille kyvykkyyksille olisi avattu vastaajille paremmin. Tietopaketin käyttö olisi kuitenkin voinut vähentää kyselyn vastaajamäärää ja siten vähentää tulosten yleistettävyyttä.

Kyselytutkimuksessa käytetyt mittarit soveltuivat tutkimukseen melko hyvin. Osgoodin asteikon sijasta mittarina olisi voinut hyödyntää esimerkiksi Likertin asteikkoa. Tällöin myös vastausten asteikon määrittely olisi ollut tarkempaa, kun pelkkien vastausvaihtoehtojen ääripäiden sijasta kaikki vaihtoehdot olisi määritelty yksikäsitteisesti. Käytettyä Osgoodin asteikkoa kohtaan voidaan esittää kritiikkiä juuri tästä syystä, koska puuttuvien vastausvaihtoehtojen riskinä on, etteivät vastaajat ymmärrä asteikkoa yhtenäisellä tavalla [25, s. 39]. Lisäksi taktisen suorituskyvyn osa-alueiden tärkeysjärjestyksen mittarina olisi ollut perusteltua käyttää parivertailua. Tällöin osa-alueiden väliset suhteet olisi saatu tarkemmin selville kuin nyt käytetyllä mittarilla [59, s. 64]. Toisaalta parivertailun käyttäminen olisi voinut osaltaan pienentää vastausprosenttia, koska kyselyn vastaamiseen käytettävä aika olisi todennäköisesti lisääntynyt. Tämä olisi ollut seurausta siitä, että vastaajien olisi pitänyt vastata kymmeneen erilliseen parivertailuun, kun vertailtavia osa-alueita oli kyselyssä viisi [59, s. 65].

Kyselytutkimuksen luotettavuutta arvioitiin tarkastelemalla sen sisäistä konsistenssia Cronbachin alfan avulla. Tarkastelussa havaittiin, että hybriditeknologioiden hyötyjä mittaavien kysymysten osalta vastaukset olivat keskenään hyvin yhtenäisiä. Näiden osalta tutkimuksen voidaan todeta antavan melko luotettavia tuloksia edellä mainituin huomioin. Toisaalta sisäisen konsistenssin tarkastelu rajoittui vain hyötyjen käsittelyyn, koska haasteiden osalta vastaavaa tarkastelua ei ollut mahdollista suorittaa.

5.2. Jatkotutkimuksen tarve

Tässä tutkimuksessa käsiteltiin rajauksen vuoksi pyörialustaista taistelujoneuvoa. Tästä syystä käyttäjän näkemyksiä hybriditeknologian hyödyntämisestä muissa panssaroiduissa ajoneuvoissa, kuten johtamisjärjestelmä-, miehistönkuljetus- ja erikoisajoneuvoissa, tulisi tutkia erikseen. Tällöin olisi mahdollista saada aikaiseksi kattavampi käsitys hybriditeknologioiden käyttöön suhtautumisesta puolustusvoimissa. Lisäksi hybridijärjestelmiin liittyviin haasteisiin kehitteillä ja saatavilla olevien ratkaisujen käytettävyyttä sotilassovelluksissa tulisi tarkastella myös kokeellisesti. Tämän pohjalta johdettuja tutkimuskysymyksiä voivat olla esimerkiksi:

- Mitkä hybriditeknologian hyödyt ovat tärkeimpiä panssaroiduissa johtamisjärjestelmä-, miehistönkuljetus- ja erikoisajoneuvoissa?
- Miten hybridijärjestelmien haasteisiin vastaaminen vaikuttaa järjestelmien käytettävyyteen sotilassovelluksissa?
- Mikä on optimaalinen kompromissi hybriditeknologioiden hyötyjen ja haasteiden välillä?
- Miten teknologinen kehitys vaikuttaa hybridijärjestelmien hyödyntämiseen tulevaisuuden sotilasajoneuvoissa?

LÄHTEET

- [1] Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S.E. & Emadi, A. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design. CRC press, 2005. 557 s. ISBN 9781420053982.
- [2] Fuhs, A. Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation. Boca Raton: CRC Press, 2008. 504 s. ISBN 9781420075342.
- [3] Ludvigsen, K. Professor Porsche's wars: the secret life of legendary engineer Ferdinand Porsche who armed two belligerents through four decades. Barnsley: Pen & Sword Military, 2018. 286 s. ISBN 978-1526726797.
- [4] Høyer, K. G. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. Utilities Policy, 2008. no. 2, p. 63–71.
- [5] Dalsjø, P. Hybrid electric propulsion for military vehicles: Overview and status of the technology. Kjeller: Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2008. 84 s. ISBN 978-82-464-1394-5.
- [6] Kramer, D.M. & Parker, G.G. Current state of military hybrid vehicle development. International Journal of Electric and Hybrid Vehicles, 2011. no. 3, p. 369–387.
- [7] Hännikäinen, S. Akuston liittäminen hybridijärjestelmään. Diplomityö. Tampere, 2010. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Automaatio-, kone- ja materiaalitekniikan tiedekunta. 71 s.
- [8] Khalil, G. Challenges of Hybrid Electric Vehicles for Military Applications. In: Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE, Dearborn, 2009. pp. 1–3.
- [9] Spielberger, W. J. Der Panzerkampfwagen Tiger und seine Abarten. Stuttgart: Motorbuch Verlag, 1991. 220 s. ISBN 3-87943-456-5.
- [10] Green, M. Tiger Tanks. Osceola: Motorbooks International, 1995. 128 s. ISBN 0-87938-954-0.

- [11] Rizzo, D. M. Military vehicle optimization and control, 2014. [viitattu 22.1.2018]. Saatavissa: <http://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1863&context=etds>.
- [12] Fairley, P. U.S.Military Goes For Hybrid Vehicles. IEEE Spectrum, 2004. Vol. 41, no. 3, p. 22–25. ISSN 0018-9235.
- [13] QinetiQ Group, QinetiQ wins two contracts from US Office of Naval Research for its Armored Reconnaissance Vehicle (ARV) programme, 4.10.2018. [viitattu 22.3.2019]. Saatavissa: <https://www.qinetiq.com/News/2018/10/QinetiQ-wins-two-contracts-from-US-Office-of-Naval-Research--for-its-Armored-Reconnaissance-Vehicle-ARV-programme>.
- [14] Nurminen, S., Juhala, M., Dahl, O., Jukka, K.-E., Kivelä, A., Lehmuspelto, T., Ritakorpi, P. & Töyrylä, T. Ajoneuvoteknologiat. Kirjassa: Kari, M et. al. (toim.). Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 : STAE 2025. Osa 1, Teknologian kehitys. Ylöjärvi: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, 2008. pp. 214–299. ISBN 978-951-25-1888-3.
- [15] NATO RTO, All Electric Combat Vehicles (AECV) for Future Applications. Neuilly-sur-Seine Cedex: Research and Technology Organisation (NATO), 2004. 229 s. ISBN 92-837-1110-6.
- [16] 180/2006. Puolustusministeriön asetus sotilasajoneuvoista.
- [17] IHS Jane's, Armoured Modular Vehicle (AMV), 26.10.2018. [verkkajulkaisu]. [viitattu 3.1.2019]. Saatavissa: https://janes-ihs-com.mp-envoy.csc.fi/Janes/Display/jaa_1183-jafv.
- [18] IHS Jane's, Boxer, 19.11.2018. [verkkajulkaisu]. [viitattu 3.1.2019]. Saatavissa: https://janes-ihs-com.mp-envoy.csc.fi/Janes/Display/jaa_0304-jafv.
- [19] IHS Jane's, Piranha; Piranha 2; Piranha 3; Piranha 4; Piranha 5, 18.12.2018. [verkkajulkaisu]. [viitattu 3.1.2019]. Saatavissa: https://janes-ihs-com.mp-envoy.csc.fi/Janes/Display/jaa_0341-jafv.
- [20] Laaksonen, A. Liikkuvuus 2030: Tulevaisuuden taisteluajoneuvon taktiset ja operatiiviset suorituskykyvaatimukset. YEK-diplomityö. Helsinki, 2007. Maanpuolustuskorkeakoulu. 223 s.

- [21] Saarelainen, A. 2030-luvun maastohenkilöauton käyttövoima arktisessa sotilaskäytössä. Pro gradu. Helsinki, 2018. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 69 s.
- [22] Jyväskylän yliopisto, Monimenetelmäisyys, 23.4.2015. [viitattu 19.9.2018]. Saatavissa:
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/monimenetelmäisyys>.
- [23] Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. Tutki ja Kirjoita. Helsinki: Tammi, 2009. 464 s. ISBN 978-951-31-4836-2.
- [24] Salminen, A. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasa: Vaasan yliopisto, 2011. 44 s. ISBN 978-952-476-349-3.
- [25] Vehkalahti, K. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Vammala: Kustannusosakeyhtiö Tammi, 2008. 223 s. ISBN 978-951-26-5760-5.
- [26] PVOHJEK-PE Suorituskyvyn rakentaminen ja ylläpito, HK666. Helsinki: Pääesikunnan logistiikkaosasto, 3.12.2014.
- [27] Pasivirta, P. & Kosola, J. Vaatimustenhallinnan soveltaminen. Helsinki: Edita Prima Oy, 2007. 161 s. ISBN 978-951-25-1821-0.
- [28] PVOHJEK-PE Joukon ja järjestelmän elinjaksonhallinta, HN917. Helsinki: Pääesikunnan logistiikkaosasto, 22.12.2017.
- [29] Kosola, J. Vaatimustenhallinnan opas. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, 2013. 155 s. ISBN 978-951-25-2454-9.
- [30] PVOHJEK-PE Vaatimustenhallinta suorituskyvyn rakentamisessa ja ylläpidossa, HN919. Helsinki: Pääesikunnan logistiikkaosasto, 22.12.2017.
- [31] PVOHJEK-PE Sotilaallisen suorituskyvyn käsitelmä, HO46. Helsinki: Pääesikunnan suunnitteluosasto, 31.5.2018.
- [32] Lulhe, A.M. & Date, T.N. A technology review paper for drives used in electrical vehicle (EV) & hybrid electrical vehicles (HEV). In: Proceedings of 2015

- International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICT), Kumaracoil, 2015. pp. 632–636.
- [33] Bhatia, V. Hybrid Tracked Combat Vehicle. In: Transportation Electrification Conference (ITEC), 2015 IEEE International, Chennai, India, 2015. pp. 1–23.
- [34] Lo, E. W. C. Review on the Configurations of Hybrid Electric Vehicles. In: 2009 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA), Hong Kong, 2009.
- [35] Chan, C. C. The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. Proceedings of the IEEE, 2007. Vol. 95, no. 4, p. 704–718.
- [36] Heuvers, J. K. Energy Storage Commonality Military vs. Commercial Trucks, 27.10.2009. [verkkojulkaisu]. [viitattu 02.03.2018]. Saatavissa: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA510660>.
- [37] Maavoimien esikunta, Toimintaympäristöanalyysiopas: (TYMPO 2011). Mikkeli: Maavoimien esikunta, 2011. 152 s. STIV.
- [38] Ilmatieteen laitos, Lämpimin ja kylmin paikka vuosittain, [viitattu 31.1.2019]. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/lampimin-ja-kylmin-paikka-vuosittain>.
- [39] Ducusin, M., Gargies, S. & Mi, C. Modeling of a Series Hybrid Electric High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle. IEEE Transactions on Vehicular Technology, March.2007. Vol. 56, no. 2, p. 557–565. ISSN 1939-9359.
- [40] Khalil, G., Danielson, E., Barshaw, E. & Chait, M. Power Supply and Integration in Future Combat Vehicles. In: Functional and Mechanical Integration of Weapons with Land and Air Vehicles, Williamsburg, 2004.
- [41] Greißner, C., Frank, S., König, D. & Otto, S. Hybrid system for a military 8x8 wheeled vehicle as an extension to a 120kW high-voltage energy system, 28.10.2013. [verkkojulkaisu]. [viitattu 1.3.2019]. Saatavissa: <https://www.jenoptik.com/-/media/websitedocuments/dcs/ed/conference-paper-hybrid-system-for-a-military-8x8-wheeled-vehicle-2013.pdf>.

- [42] Liao, Y., G., O'Malley, M. & Quail, A. Experimental Evaluation of Parallel Hybrid Medium-Duty Tactical Truck. In: 2012 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Dearborn, 2012.
- [43] Madhu, V. & Balakrishna Blat, T. Armour Protection and Affordable Protection for Futuristic Combat Vehicles. *Defence Science Journal*, 2011. Vol. 61, no. 4, p. 394–402. ISSN: 0011-748X.
- [44] Goodell, B. Electrothermal Chemical (ETC) Armament System Integration Into a Combat Vehicle. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2007. Vol. 43, no. 1, p. 456–459. ISSN 1941-0069.
- [45] Kaushal, H. & Kaddoum, G. Applications of Lasers for Tactical Military Operations. *IEEE Access*, 22.9.2017. Vol. 5, p. 20736–20753. ISSN 2169-3536.
- [46] Ando, Y., Oku, T., Yasuda, M., Ushijima, K., Matsuo, H. & Murozono, M. A State-of-the-Art Compact SiC Photovoltaic Inverter with Maximum Power Point Tracking Function. In: *International Conference on Structural Analysis of Advanced Materials: ICSAAM 2017*, Bucharest, 2018.
- [47] Reimers, J., Dorn-Gomba, L., Mak, C. & Emadi, A. Automotive Traction Inverters: Current Status and Future Trends. *IEEE Transactions on Vehicular Technology (Early Access)*, 2019. ISSN 1939-9359.
- [48] Weiss, H., Winkler, T. & Ziegerhofer, H. Large lithium-ion battery-powered electric vehicles — From idea to reality. In: *2018 ELEKTRO*, Mikulov, 2018.
- [49] Garche, J. & Scrosati, B. Lithium Batteries: Status, Prospects and Future. *Journal of Power Sources*, 2010. no. 195, p. 2419–2430. ISSN 0378-7753.
- [50] Ulvestad, A. A Brief Review of Current Lithium Ion Battery Technology and Potential Solid State Battery Technologies, 2018. [verkkojulkaisu]. [viitattu 31.1.2019]. Saatavissa: <https://arxiv.org/pdf/1803.04317>.
- [51] Sims, B. & Crase, S. Review of Battery Technologies for Military Land Vehicles. Technical Note. Edinburgh, 2017. Defence Science and Technology Group. 42 s.

- [52] Chen, A. & Sen, P.K. Advancement in Battery Technology: A State-of-the-Art Review. In: 2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Portland, 2016. pp. 1–10.
- [53] Al-Mamun, A., Liu, Z., Rizzo, D. & Onori, S. An Integrated Design and Control Optimization Framework for Hybrid Military Vehicle Using Lithium-ion Battery and Supercapacitor as Energy Storage Devices. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 3.2019. Vol. 5, no. 1, p. 239–251. ISSN 2332-7782.
- [54] Swedish Defence Research Agency, FOI tests for safer and longer battery life, 27.2.2019. [viitattu 22.3.2019]. Saatavissa: <https://www.foi.se/en/foi/news-and-pressroom/news/2019-02-27-foi-tests-for-safer-and-longer-battery-life.html>.
- [55] Jian, L. Research Status and Development Prospect of Electric Vehicles Based on Hub Motor. In: 2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Tianjin, 2018. pp. 126–129.
- [56] Mackey, J., Goldsack, S. & Dick, S. Next-Generation In-Wheel Electric Hub Drives. In: 2017 NDIA Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium, Novi, Michigan, 2017.
- [57] Purdy, D.J. & Simner, D. A Brief Investigation into the Effect on Suspension Motions of High Unsprung Mass. *Journal of Battlefield Technology*, 2004. Vol. 7, no. 1, p. 15–20. ISSN: 1440-5113.
- [58] Kazak, A.N. & Filippov, D.M. Development of In-wheel Motor for Vehicles. In: 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus), Saint Petersburg and Moscow, 2019. pp. 1406–1408.
- [59] Valli, R. *Johdatus tilastolliseen tutkimukseen*. 2. uud. painos. Jyväskylä: PS-kustannus, 2015. 169 s. ISBN 978-952-451-661-7.
- [60] Vilkka, H. *Tutki ja mittaa: määrällisen tutkimuksen perusteet*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi, 2007. 188 s. ISBN 978-951-265-641-7.
- [61] Hofstede, G. H. *Culture's Consequences: Comparing Values, Behaviors, Institutions and Organizations Across Nations*. 2. painos. Thousand Oaks (Calif.): Sage, 2001. 596 s. ISBN 0-8039-7323-3.

- [62] Heikkilä, T. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita, 2014. 297 s. ISBN 978-951-376-495-1.
- [63] Rosenberg, B.D. & Navarro, M.A. Semantic Differential Scaling. Kirjassa: The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc., 2018. pp. 1504–1507. ISBN: 9781506326139.
- [64] Pääesikunnan henkilöstöosasto, Puolustusvoimien henkilöstötilinpäätös 2017. Helsinki: Juvenes Print Oy, 2018. 32 s. ISBN 978-951-25-3013-7.
- [65] Mellin, I. Johdatus tilastotieteeseen: Tilastollisten aineistojen kuvaaminen, 2004. [verkkójulkaisu]. [viitattu 16.1.2019]. Saatavissa: http://salserver.org.aalto.fi/vanhat_sivut/Opinnot/Mat-2.090/pdf_varasto/TILAK100-6p.pdf.
- [66] McCrary, S. Implementing Algorithms to Measure Common Statistics, November.2015. [verkkójulkaisu]. [viitattu 16.1.2019]. Saatavissa: https://www.thinkbrg.com/media/publication/720_720_McCrary_ImplementingAlgorithms_Whitepaper_20151119_WEB.pdf.
- [67] Tilastokeskus, Johdatus tilastotieteeseen: 4.3.4 Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin, [viitattu 17.1.2019]. Saatavissa: https://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?page_type=sisalto&course_id=tkoulu_tilaj&lesson_id=4&subject_id=7.
- [68] Tampereen yliopisto, Mittaaminen: Mittarin luotettavuus, 2.7.2008. [viitattu 8.3.2019]. Saatavissa: <https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/mittaaminen/luotettavuus.html>.
- [69] Tuomi, J. & Sarajärvi, A. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Tammi, 2009. 182 s. ISBN 978-951-31-5369-4.
- [70] Mellin, I. Johdatus tilastotieteeseen: Tilastollinen riippuvuus ja korrelaatio, 2005. [verkkójulkaisu]. [viitattu 12.3.2019]. Saatavissa: <http://math.tkk.fi/opetus/sovtoda/luennot/vanhat/TILRI100.pdf>.

LIITTEET

LIITE 1: Kyselylomakkeen saate ja kysymykset

LIITE 2: Havaintoaineiston esikäsittely ja siihen käytetyt kaavat

LIITE 3: Korrelaatiokertoimien tilastollisen merkitsevyyden testaus

KYSELYLOMAKKEEN SAATE

Arvoisa vastaaja,

Tämä kysely on osa pro gradu -tutkielmaani "Hybriditeknologioiden hyödyt ja haasteet panssaroiduissa ajoneuvoissa". Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitä hybridijärjestelmien tarjoamista hyödyistä puolustusvoimien henkilöstö pitää tärkeimpinä, ja ovatko jotkin syntyvät haasteet kriittisiä hybridien hyödyntämisen kannalta.

Pyrkikää arviomaan esitettyjä kyvykkyyksiä jalkaväentaistelujoneuvon (IFV) näkökulmasta. Vastattaessa ei tarvitse arvioida, onko esimerkiksi puolustusvoimilla resursseja hankkia esitettyjä kyvykkyyksiä. Toimintaympäristön osalta pyrkikää tarkastelemaan suomalaista toimintaympäristöä ja sen tavallisimpia sääolosuhteita ja vuodenaikoja.

Hybriditeknologiat ovat ajoneuvoissa yleensä kahden eri voimalähteen, kuten polttomoottorin ja sähköisen voimansiirron, yhdistelmiä. Tässä kyselyssä hybriditeknologialla tarkoitetaan dieselmoottorin ja akustolla varustetun sähköisen voimansiirron yhdistelmää (vrt. bensamoottorilla varustettu Toyota Prius).

Kaikkiin monivalintakysymyksiin on pakko vastata ja ne on merkitty *-merkillä. Jokaisen monivalintakysymysten jälkeen on "Avoin vastaus" -kohta, johon voitte tarkentaa antamianne vastauksia tai huomauttaa, jos jokin kyvykkyys tai haaste on jäänyt puuttumaan.

Kiitos ajastanne ja vastauksistanne!

Yliluutnantti Visa Laitinen

Sotatieteiden maisterikurssi 8

Oppilasupseeri, Panssariprikaati

KYSELYLOMAKKEEN KYSYMYKSET

Taustakysymykset

Valitkaa edustamanne organisaatio: *

1. JÄRJK
2. KARPR
3. MAASK/MAAVTKESK
4. MAASK/PSK
5. MAAVE/HOS
6. PORPR
7. PSPR

Valitkaa henkilöstöryhmänne: *

1. Aliupseeri
2. Erikoisupseeri
3. Opistoupseeri
4. Siviili
5. Upseeri

Kuinka merkittävänä pidätte seuraavia suorituskykyjä jalkaväentaistelujoneuvossa (pyörä-IFV)?

Johtaminen

Kyky käyttää ajoneuvon johtamisjärjestelmiä pelkällä akustolla *

Mahdollisuus käyttää johtamisjärjestelmiä 15-24 tuntia ilman polttomoottorin käynnistämistä.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky käyttää ajoneuvon sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla *

Mahdollisuus käyttää sensorijärjestelmiä 15-24 tuntia ilman polttomoottorin käynnistämistä.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky käyttää ajoneuvoa kenttä sähköverkossa voimakoneena *

Mahdollisuus käyttää ajoneuvoa esimerkiksi johtamistilojen sähköistykseen.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Tulivoima

Kyky asentaa sähköisiä asejärjestelmiä ajoneuvoon *

Mahdollisuus asentaa esimerkiksi laseraseita ajoneuvoon.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky hyödyntää sähköistä sytytysjärjestelmää pääaseessa *

Sähköinen sytytysjärjestelmä parantaa aseiden lähtönopeutta ja laukaisun ajoitusta, mikä kasvattaa aseiden suorituskykyä.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Liikkuvuus

Kyky toimia 660-960 km ilman polttoainetäydennystä *

Perinteiseen ajoneuvoon verrattuna 10-20% prosenttia pidempi toimintasäde.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky nopeaan kiihdytykseen/peruutukseen *

Perinteiseen ajoneuvoon verrattuna n. 25 % parempi kiihtyvyys. Parannus saavutetaan sekä eteen- että taaksepäin.

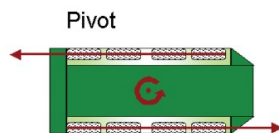
	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky pivot-käännöksiin *

Mahdollisuus kääntää pyöräajoneuvo paikallaan pivot-käännöksellä.



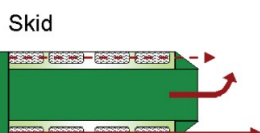
	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky luisto-ohjaamiseen *

Mahdollisuus pienentää kääntösädettä jarruttamalla sisäkurvin jokaista rengasta itsenäisesti.



	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoim vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Taistelunkesto

Kyky käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia *

Sähköinen reaktiivipanssarointi toimii samalla periaatteella kuin perinteinen reaktiivipanssarointi, mutta ilman räjähteitä.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoim vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky siirtää ajoneuvoa sähkövoimalla *

Mahdollisuus ajaa ajoneuvoa pelkällä sähkövoimalla 0,5-1 tuntia ja pienentää näin lämpö- ja ääniherätteitä.

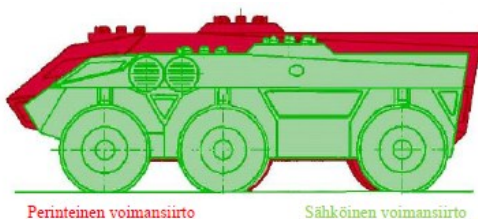
	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoim vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky pienentää ajoneuvon ulkomittoja *

Ajoneuvon ulkomittoja voidaan pienentää sisätilojen pysyessä muuttumattomina.



Perinteinen voimansiirto

Sähköinen voimansiirto

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoim vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky siirtää ajoneuvoa vaurioituneena *

Itsenäisten sähkömoottorien käyttö jokaisessa pyörässä mahdollistaa ajoneuvon liikuttamisen yksittäisten renkaiden vaurioista huolimatta.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoim vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Logistiikka

Kyky vähentää ajoneuvon polttoainehuoltoa *

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoim vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky tarkkaan vianmääritykseen *

Sähköjärjestelmien käyttö mahdollistaa paremman diagnostiikan ajoneuvossa.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoim vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky käyttää yksinkertaisia alustarakenteita *

Veto- ja kardaaniakselien poistuminen ajoneuvon alustarakenteesta johtaa muun muassa helpompaan huollettavuuteen ja vähentää varaosien tarvetta.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kyky lisätä ajoneuvon sisällä hyödynnettävissä olevaa tilaa *

Muun muassa alustarakenteiden ja voimansiirtolinjan pienenemisestä johtuen ajoneuvon sisätiloja voidaan kasvattaa, mikä parantaa esimerkiksi mahdollisuuksia kuljettaa materiaalia ajoneuvossa.

	1	2	3	4	5	
Suorituskyky on tarpeeton	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Suorituskyky on tärkeä

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Haasteet

Kuinka kriittisinä pidätte seuraavia hybriditeknologioiden käytön aiheuttamia haasteita?

Ajoneuvon korin epävakaa käytös *

	1	2	3	4	5	
Haaste EI ole kriittinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Haaste on kriittinen

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Akkujen suuri määrä ajoneuvossa *

Akkuihin varastoitu energia saattaa aiheuttaa vaaratilanteita esimerkiksi vaurioitumisen yhteydessä.

	1	2	3	4	5	
Haaste EI ole kriittinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Haaste on kriittinen

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Kuljetuskapasiteetin väheneminen *

	1	2	3	4	5	
Haaste EI ole kriittinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Haaste on kriittinen

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Ajoneuvon säilyttäminen/varastointi *

Akkujen käytön lisääntyminen aiheuttaa haasteita ajoneuvon säilyttämiselle ja varastoinnille. Esimerkiksi litiumioniakkujen käyttö vaatii varastoinnin viileässä ja 40 % varaustilassa.

	1	2	3	4	5	
Haaste EI ole kriittinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Haaste on kriittinen

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Sähköjärjestelmien lisääntyminen ajoneuvossa *

Ajoneuvon liikkuvuus riippuu entistä enemmän sähköjärjestelmien toimivuudesta.

	1	2	3	4	5	
Haaste EI ole kriittinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Haaste on kriittinen

Avoin vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Hybridijärjestelmän käytön aiheuttama tarve henkilöstön lisäkoulutukselle *

	1	2	3	4	5	
Haaste Ei ole kriittinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Haaste on kriittinen

Avoim vastaus

Tarkentakaa tarvittaessa vastaustanne

Tuleeko mieleenne muita haasteita, joita ei mainittu edellä?

Kuinka kriittisinä pidätte niitä?

Kyvykkyyksien kriittisyys

Kuinka kriittinen esitetty kyvykkyys on panssaroidussa pyörajoneuvossa? *

Kriittisiksi vaatimuksiksi määritellään vain ne vaatimukset, joilla on oleellinen merkitys tehtävän täyttämisen kannalta.

	Kriittinen	Ensisijainen	Toissijainen
Kyky käyttää ajoneuvon johtamisjärjestelmiä pelkällä akustolla	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky käyttää ajoneuvon sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky käyttää ajoneuvoa kenttä sähköverkossa voimakoneena	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky asentaa sähköisiä asejärjestelmiä ajoneuvoon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky hyödyntää sähköistä sytytysjärjestelmää pääaseessa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky toimia 660-960 km ilman polttoainetäydennystä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky nopeaan kiihdytykseen/peruutukseen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky pivot-käännöksiin	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky luisto-ohjaamiseen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky siirtää ajoneuvoa sähkövoimalla	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky pienentää ajoneuvon ulkomittoja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky siirtää ajoneuvoa vaurioituneena	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky vähentää ajoneuvon polttoainehuoltoa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky tarkkaan vianmääritykseen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky käyttää yksinkertaisia alustarakenteita	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kyky lisätä ajoneuvon sisällä hyödynnettävissä olevaa tilaa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Taktiset suorituskykyvaatimukset

Järjestäkää seuraavat taktisen suorituskyvyn osa-alueet tärkeysjärjestykseen (1=tärkein, 5=vähiten tärkeä): *

Jokaisesta sarakkeesta voi valita vain yhden vaihtoehdon.

	1	2	3	4	5
Johtaminen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tulivoima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Liikkuvuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Taistelunkesto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logistiikka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

HAVAINTOAINEISTON ESIKÄSITTELY JA SIIHEN KÄYTETYT KAAVAT

Havaintoarvojen 2. keskusmomentti [65, s. 8]:

$$m_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Havaintoarvojen 3. keskusmomentti [65, s. 8]:

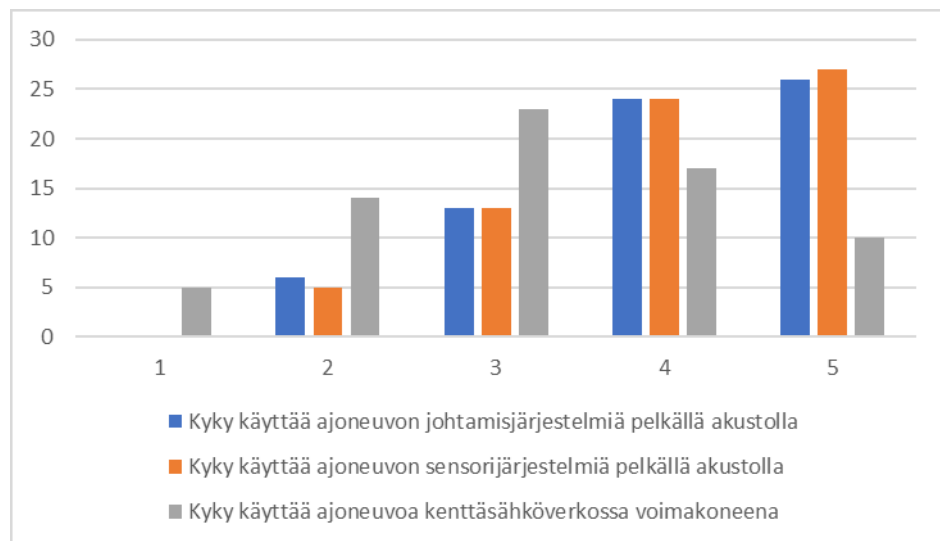
$$m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

Havaintoarvojen jakauman vinoutta kuvaava tunnusluku [65, s. 8]:

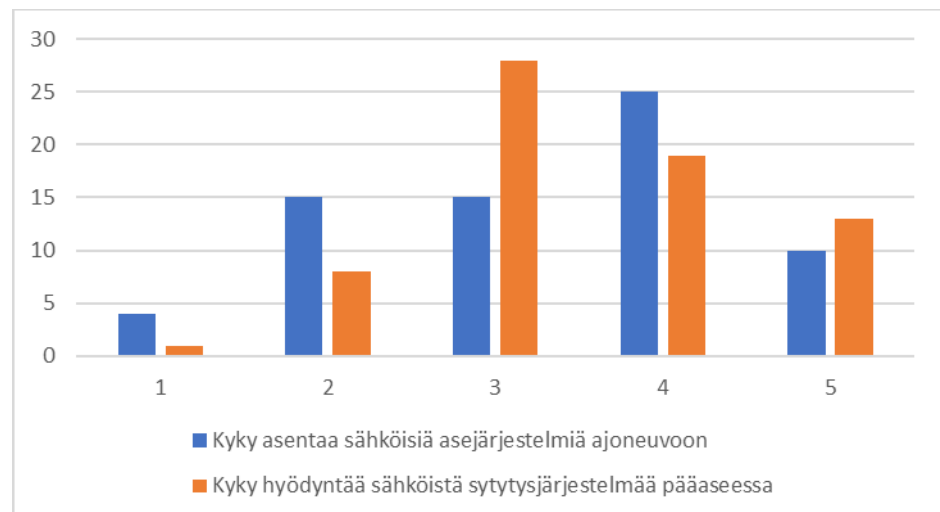
$$c_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}$$

Taulukko 29: Jakaumien vinouden suhde vinouden keskivirheeseen

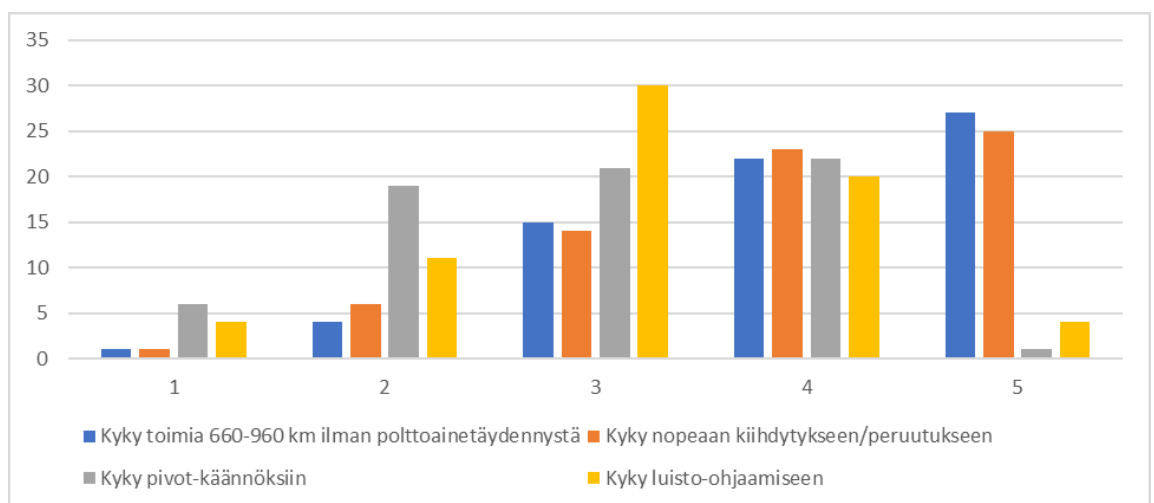
Kysymys	c ₁ /SES
Kyky käyttää ajoneuvon johtamisjärjestelmiä pelkällä akustolla	2,22
Kyky käyttää ajoneuvon sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla	2,32
Kyky käyttää ajoneuvoa kenttä sähköverkossa voimakoneena	0,27
Kyky asentaa sähköisiä asejärjestelmiä ajoneuvoon	1,03
Kyky hyödyntää sähköistä sytytysjärjestelmää pääaseessa	0,07
Kyky toimia 660-960 km ilman polttoainetäydennystä	2,68
Kyky nopeaan kiihdytykseen/peruutukseen	2,49
Kyky pivot-käännöksiin	0,84
Kyky luisto-ohjaamiseen	0,93
Kyky käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia	2,83
Kyky siirtää ajoneuvoa sähkövoimalla	1,82
Kyky pienentää ajoneuvon ulkomittoja	2,07
Kyky siirtää ajoneuvoa vaurioituneena	4,08
Kyky vähentää ajoneuvon polttoainehuoltoa	4,56
Kyky tarkkaan vianmääritykseen	3,60
Kyky käyttää yksinkertaisia alustarakenteita	4,71
Kyky lisätä ajoneuvon sisällä hyödynnettävissä olevaa tilaa	4,02
Ajoneuvon korin epävakaa käytös	0,83
Akkujen suuri määrä ajoneuvossa	1,15
Kuljetuskapasiteetin väheneminen	2,41
Ajoneuvon säilyttäminen/varastointi	4,53
Sähköjärjestelmien lisääntyminen ajoneuvossa	2,52
Hybridijärjestelmän käytön aiheuttama tarve henkilöstön lisäkoulutukselle	0,11



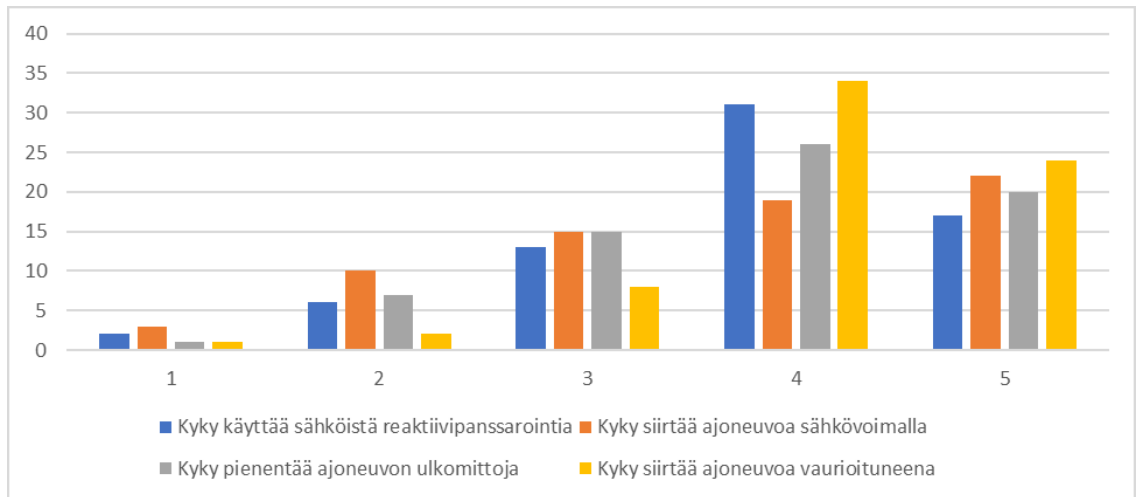
Kaavio 12: Johtamisen osa-alueen vastausjakauma



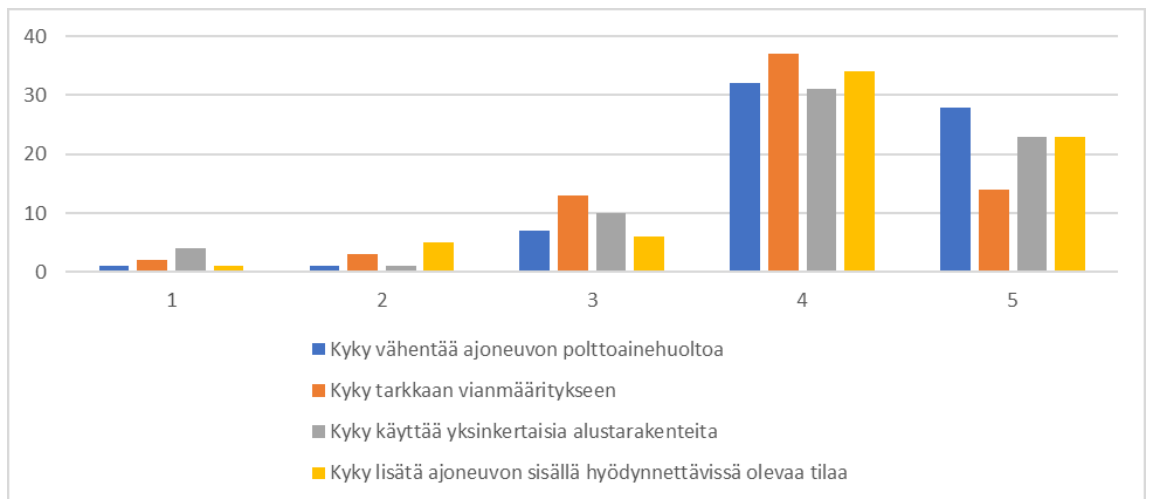
Kaavio 13: Tulivoiman osa-alueen vastausjakauma



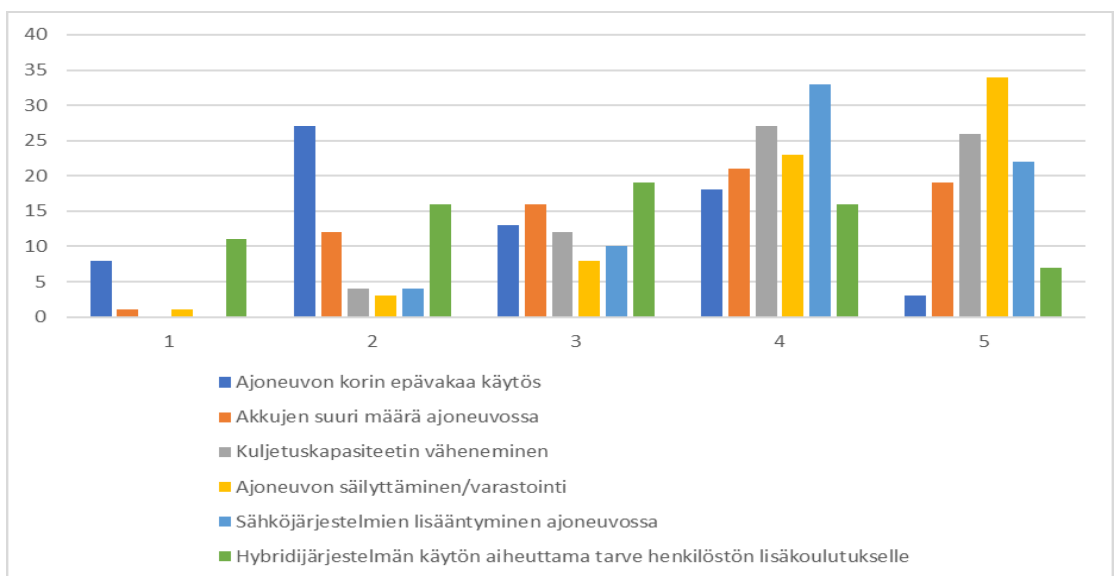
Kaavio 14: Liikkuvuuden osa-alueen vastausjakauma



Kaavio 15: Taistelunkeston osa-alueen vastausjakauma



Kaavio 16: Logistiikan osa-alueen vastausjakauma



Kaavio 17: Haasteiden vastausjakauma

KORRELAATIOKERTOIMIEN TILASTOLLISEN MERKITSEVYYDEN TESTAUS

Taulukossa 30 on esitetty korrelaatiokertoimille lasketut p-arvot, joilla arvioidaan korrelaation tilastollista merkitsevyyttä. Nollahypoteesina H_0 oli, että korrelaatiokerroin on 0 eli kysymysten vastaukset eivät korreloi keskenään. Vaihtoehtoinen hypoteesi H_1 oli, että korrelaatiokerroin on suurempi kuin nolla eli vastauksilla on positiivinen korrelaatio. Taulukosta alla voidaan nähdä, että kaikkien kysymysten tapauksessa p-arvot ovat hyvin pieniä sekä Pearsonin että Spearmanin korrelaatiokertoimien tapauksessa. Tällöin nollahypoteesi voidaan hylätä, koska p-arvot ovat kaikissa tapauksissa $<0,01$.

Taulukko 30: Korrelaatiokertoimien p-arvot

Kysymys	p-arvo (Pearson)	p-arvo (Spearman)
Kyky käyttää ajoneuvon johtamisjärjestelmiä pelkällä akustolla	0,0000	0,0001
Kyky käyttää ajoneuvon sensorijärjestelmiä pelkällä akustolla	0,0000	0,0000
Kyky käyttää ajoneuvoa kenttä sähköverkossa voimakoneena	0,0000	0,0000
Kyky asentaa sähköisiä asejärjestelmiä ajoneuvoon	0,0001	0,0001
Kyky hyödyntää sähköistä sytytysjärjestelmää pääaseessa	0,0002	0,0003
Kyky toimia 660-960 km ilman polttoainetäydennystä	0,0000	0,0000
Kyky nopeaan kiihdytykseen/peruuttukseen	0,0000	0,0000
Kyky pivot-käännöksiin	0,0000	0,0000
Kyky luisto-ohjaamiseen	0,0000	0,0000
Kyky käyttää sähköistä reaktiivipanssarointia	0,0000	0,0000
Kyky siirtää ajoneuvoa sähkövoimalla	0,0000	0,0000
Kyky pienentää ajoneuvon ulkomitoja	0,0001	0,0001
Kyky siirtää ajoneuvoa vaurioituneena	0,0008	0,0002
Kyky vähentää ajoneuvon polttoainehuoltoa	0,0000	0,0000
Kyky tarkkaan vianmääritykseen	0,0000	0,0000
Kyky käyttää yksinkertaisia alustarakenteita	0,0004	0,0027
Kyky lisätä ajoneuvon sisällä hyödynnettävissä olevaa tilaa	0,0002	0,0002