



Maanpuolustuskorkeakoulu

TEKNOLOGISEN KEHITYKSEN VAIKUTUKSIA SODANKÄYNTIIN 2015–2025

Jyri Kosola



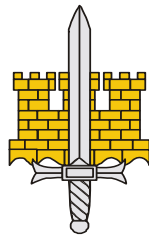
Sotatekniikan Laitos

Julkaisusarja 4

No 3/2011

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin 2015-2025

Jyri Kosola



Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos

Teoksen osittainenkin kopiointi ilman tekijänoikeudenhaltijan lupaa on kielletty. Teosta ja sen osia saa vapaasti käyttää puolustusvoimien virkakäyttöön sekä julkaista puolustusvoimien verkoissa. Tekstiä, kuvia tai piirroksia lainattaessa lähde on mainittava.

Kannen kuva: SA-kuvaoriginaali / edit. J. Kosola

Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos

ISBN 978-951-25-2165-4 (painettu)
ISBN 978-951-25-2166-1 (verkkojulkaisu)

ISSN-L 1799-5027
ISSN 1799-5027 (painettu)
ISSN 1799-5035 (verkkojulkaisu)

Edita Prima Oy
Helsinki 2011

ESIPUHE

Tämä julkaisu on kokonaistarkastelu sotateknologian kehityksen yleistasoisista vaikutuksista sodankäyntiin. Se perustuu suomalaisiin ja ulkomaisiin arvioihin tekniikan yleisestä kehityksestä tarkasteltuna sodankäynnin kannalta. Kyseessä ei siten ole sotateknisen kehityksen arvio ja ennuste, vaan eri maiden ennusteista ja arvioista muodostetun synteesin perusteella tehty analyysi teknologisen kehityksen seurannaisvaikutuksista sodankäyntiin.

Tekstissä ei muutamaa tietoista poikkeusta lukuun ottamatta ole viitattu lähteisiin, koska kyse ei ole tieteellisestä tutkimuksesta. Tavoitteena oli tuottaa kansantajuinen julkinen tulevaisuudenkuvaus 10 - 20 vuoden aikajänteelle. Esitetyt näkökulmat perustuvat usean lähdetahon näkemyksiin ja kirjoittajan rooli on ollut ensisijaisesti arvioida niiden merkittävyyttä sodankäynnin kannalta.

Helsingissä 12.12.2010 *Jyri Kosola*

Sotilasyli-insinööri, insinöörieverstiluutnantti Jyri Kosola on suorittanut

- Diplomi-insinöörin tutkinnon Teknillisessä Korkeakoulussa pääaineena tietokone- ja tiedonsiirtotekniikka sekä digitaalinen signaalinkäsittely
- Tekniikan lisensiaatin tutkinnon Teknillisessä Korkeakoulussa pääaineena teletekniikka ja sivuaineena Maanpuolustuskorkeakoulussa suoritettu sotatekniikka
- Master of Science -tutkinnon tiedustelu-, valvonta-, johtamis- ja asejärjestelmien tekniikoissa sekä elektronisessa sodankäynnissä Cranfieldin yliopistossa Royal Military College of Science:ssa Englannissa
- Yleisesikuntaupseerin tutkinnon Maanpuolustuskorkeakoulussa

Kosola on palvellut puolustusvoimissa vuodesta 1991 alkaen kehittämisohjelmiin, hankkeisiin, puolustusjärjestelmien tutkimukseen, tekniseen kehittämiseen, hankintaan, käyttöönottoon ja ylläpitoon liittyvissä tehtävissä Elektroniikkalaitoksella, Puolustusvoimien Materiaalilaitoksen esikunnassa ja Pääesikunnassa sähkötekniillisellä osastolla, teknillisellä kehittämisosastolla, operatiivisella osastolla, johtamisjärjestelmäosastolla sekä materiaaliosastolla, jossa toimii tällä hetkellä teknologiasektorin johtajana.

TIIVISTELMÄ

Teknologisen kehityksen suunnan sekä kehitysnopeuden arviointia ja ennakointia tärkeämpää on luoda kyky ottaa hallitusti käyttöön uutta teknologiaa.

Sodankäynti perustuu joko kulutukseen tai asymmetriaan. Kulutussodankäynnin voittaa aina resursseiltaan tai tappionsietokyvyltään suurempi osapuoli. Asymmetrialla voidaan omia vahvuuksia ja vastustajan heikkouksia hyödyntämällä voittaa vahvempi osapuoli. Asymmetria voi liittyä käyttöperiaatteeseen (operaatiotaito, taktiikka), henkilöstöön (moraali, koulutus, johtajuus) tai materiaaliin (parempi teknologia tai parempi kyky soveltaa teknologiaa). Kulutussodankäyntiin joutumisen välttämiseksi on yleensä syytä vastata teknologiseen uhkaan jollakin toisella teknologialla - tai sitten täysin erilaisella taktiikalla.

Kaupunkiympäristön merkityksen korostuminen sekä osapuolten välisestä määrällisestä ja teknologisesta epätasapainosta johtuva **asymmetristen keinojen** lisääntyvä käyttö vaikuttavat merkittävästi sotilasjärjestelmien tekniseen kehitykseen. **Lisäksi sotaa matala-asteisempien kriisien** yleistymisen edellyttää asevoimilta uudenlaisen taktiikan lisäksi myös uudentyypistä puolustusmateriaalia.

Suomen turvallisuusympäristössä tapahtuva joukkojen väheneminen ja jäljelle jäävien joukkoyksiköiden pieneneminen eivät kuitenkaan laske näiden suorituskykyä. Tämä johtaa joukkojen teknistymiseen ja niiden johtamiselle, liikkuvuudelle, suojalle ja tulivoimalle asetettavan vaatimusten huomattavaan kehittymiseen

Teknologinen kehitys mahdollistaa yksittäisten järjestelmien suorituskyvyn parantamisen lisäksi myös kokonaan uudentyypisen suorituskyvyn syntymisen, kun järjestelmät verkotetaan. Keskeistä on informaation roolin korostuminen. Huomion ja resurssien käytön painopiste siirtyy laitteistoista ohjelmistoihin, puolustustarvikkeista taistelukentällä käyttöön saataviin palveluihin, laitteista järjestelmiin ja järjestelmien muodostamiin järjestelmään (engl. System of Systems, SoS). Tämän suorituskyvyn tehokas käyttäminen edellyttää hyvää tilannetietoisuutta sekä hallittua vaikuttamiskykyä.

Sotilaallisten järjestelmien koko ajan kehittyvän suorituskyvyn vastapainoksi niiden yksikkökustannukset kasvavat jatkuvasti. Esimerkiksi USA:n viisi tärkeintä puolustusjärjestelmää maksoivat vuonna 2001 noin 281 miljardia dollaria, mutta neljä vuotta myöhemmin niiden yhteiskustannukseksi arvioitiin jo 521 miljardia. Kohoavista yksikkökustannuksista huolimatta puolustusbudjetin voidaan nähdä supistuvan sekä lyhyellä että pitkällä aikajänteellä. Kohoavat kustannukset yhdessä supistuvan rahoituksen kanssa johtavat siihen, että on:

- hankittava oikeata kalustoa todelliseen tarpeeseen; suorituskykyvaatimusten validointi ja oikean teknologisen tason määrittäminen (laadullisen ja määrällisen tekijän tasapaino)
- hankittava yleiskäyttöisempiä järjestelmiä ja järjestelmäkomponentteja (modulaarisuus ja yhteensopivuus)

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

- maksimoitava sodan ajan suorituskyky eikä pyrittävä hankkimaan mahdollisimman monta kappaletta jotakin järjestelmää tai laitetta (suorituskykypohjainen hankinta ja organisointi)
- toteutettava kehittämisohjelmat entistä luotettavammin ja tehokkaammin (Systems Engineering ja Systems-of-Systems Engineering)

Edellä kuvattu on helposti todettu, mutta edellyttää johdolta kykyä nähdä riittävän pitkälle tulevaisuuteen sekä halua tehdä faktapohjaisia päätöksiä ja sitoutua niihin. **Organisaatiolta ja siinä toimivilta ihmisiltä se edellyttää korkeata osaamistasoa, erityisesti kykyä ymmärtää tekniikan ja sodan lainalaisuuksia.** Puolustusmateriaalin kehittäminen ja hankinta on jo nykyisin, mutta tulevaisuudessa paljon suuremmissa määrin alan ammattilaisten työkenttää, jossa koulutus ja kokemus näyttelevät merkittävää osaa.

Edes Yhdysvalloilla ei ole resursseja luoda uutta suorituskykyä vanhan järjestelmäkonseptin pohjalta. Ratkaisuksi on kehitetty **verkostokeskeinen sodankäynti**, jossa palvelun tuottavat elementit, kuten sensorit ja vaikuttamisjärjestelmät, ovat yhteiskäyttöisiä ja ne on liitetty toisiinsa tietoverkon välityksellä. Itse asiassa kyse ei ole uudesta asiasta, koska esimerkiksi suomalainen epäsuoran tulenkäytön järjestelmä, jossa tulenjohtajat ja tuliyksiköt ovat periaatteessa yhteiskäyttöisiä ja liitetty toisiinsa tiedonsiirtoyhteyksin ja tulenkäytön johtamisjärjestelmällä, on hyvä esimerkki verkostokeskeisestä ajatus- ja toimintamallista. **Verkostokeskeinen puolustus tarjoaa mahdollisuuden tuottaa vaadittu suorituskyky käyttöön saatavin resurssein.** Verkostopuolustuskyky ei edellytä keskitetysti rakennettavaa verkostopuolustusjärjestelmää, vaan keskitetysti johdettua kykyä verkottaa olemassa olevia ja tulevia järjestelmiä. Tiukasti integroidun verkostopuolustusjärjestelmän rakentaminen ei ole tähän mennessä onnistunut missään valtiossa eikä sen onnistuminen vaikuta todennäköiseltä. Sen sijaan itsenäisten järjestelmien löyhästä integroinnista toimivaksi verkostoksi on hyviä kokemuksia.

2000-luvun teknologia tekee mahdolliseksi yhdistää verkostoon elementtejä yhä kattavammin ja reaaliaikaisemmin yli aselaji- ja puolustushaararajojen. Verkostolähtöisyys on ainut toimintatapa, jolla voidaan saavuttaa tarvittava suorituskyky käytettävissä olevin resurssein. Toisaalta se johtaa myös riippuvuuteen verkoston toimintakyvystä. Tämän vuoksi verkoston perustana olevan tietojärjestelmäkokonaisuuden sekä ennen kaikkea tiedonsiirtoalustan suunnitteluun ja toteuttamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Verkostopohjainen lähestymistapa edellyttää kuitenkin **suorituskykylähtöistä kehittämistä**, koordinoitua **arkkitehtuurin** ja **konfiguraation** sekä **elinjaksojen hallintaa** yli aselaji- ja puolustushaararajojen, mikä edellyttää uutta osaamista sekä suunnittelu- ja hankintaorganisaatioiden kehittämistä. Tämä kehitysvaatimus on vastakkainen niiden hallinnon tehostamishankkeiden kanssa, joissa keskitetyn suunnittelun edellytykset hajotetaan maakunnallisiksi resursseiksi. Myös toiminnan ja resurssien suunnittelun ja seurannan (TRSS) sekä hankinta- ja ylläpitotoiminnan tulee olla suorituskykylähtöistä. Tämä edellyttää budjetoinnin, kumppanuustoiminnan ja hankintamallien kehittämistä.

Puolustushaarojen ja toimialojen uudelleenmäärittely tulee harkittavaksi viimeistään tarkastelujakson puolivälissä. Nykyinen jako perustuu 1900-luvun alkupuolen aikaiseen laite- ja lavettilähtöiseen ajattelutapaan, joka puolestaan perustui sen aikaisen teknologian asettamiin reunaehtoihin ja taistelun kuvan tarpeisiin.

Verkostolähtöisyys yhdessä hajautus-, ulottuvuus- ja liikkuvuusvaatimusten kanssa johtaa asevoimien kasvavaan riippuvuuteen sähkömagneettisesta spektristä. Yhteiskunnan verkostoituminen ja teknistyminen tekevät rajallisesta sähkömagneettisesta spektristä koko ajan ruuhkaisemman ja vaikeamman toimintaympäristön. Siten **sähkömagneettisen spektrin hallinta** – oman toimintakyvyn varmistaminen, vastustajan kyvyn lamauttaminen sekä kolmansille osapuolille aiheutuvien oheisvaikutusten minimointi – muodostaa kriittisen suorituskyvyn kaikelle sodankäynnille. **Spektrin reaaliaikainen hallintakyky yhdistettynä elektroniseen vaikuttamisjärjestelmään muodostavat yhden merkittävimmistä mahdollisuuksista.**

Tämän vuosituhannen alussa sodankäynnin viiteen ulottuvuuteen – kolmiulotteiseen tilaan, aikaan ja sähkömagneettiseen spektriin – on jo tullut mukaan ns. **kyberavaruu**s, eli tietojärjestelmädimensio. Yhteiskunnan teknisten rakenteiden ja palveluinfrastruktuurin verkottuminen johtaa sekä kasvavaan infrastruktuuririippuvuuteen että lisääntyvään järjestelmien avoimuuteen ja yhteiskäyttöisyyteen. Yhdessä nämä muodostavat merkittävän uhkan, johon on **varauduttava kansallisessa yhteistyössä.**

Kyberavaruuden korostuminen vaikuttaa puolustusvoimiin sekä suoraan johtamis- ja tukeutumisyjärjestelmän kautta että viranomaisyhteistyön, siviilisektorin kanssa yhteiskäyttöisten järjestelmien ja kumppaneille ulkoistettujen strategisten toimintojen kautta. Kyberavaruuden hallinnasta on tulossa uusi tärkeä sodankäynnin toimintakenttä.

Ihmisen rooli järjestelmien välittömänä ohjaajana **vähenee** ihmisen rajallisen suoritusnopeuden, heikon ympäristöolosuhteiden keston sekä suuren redundantin massan vuoksi. Tekninen kehitys mahdollistaa ja jopa puoltaa ihmisen korvaamista useimmissa laitteiden käyttämiseen liittyvissä tehtävissä. Kehitys johtaa miehittämättömien lavettien rajoitettuun käyttöönottoon kaikissa puolustushaaroissa. Toisaalta ihmisen ylivoimainen kyky hahmottaa laajoja kokonaisuuksia, määrittää tehtäviä sekä reagoida odottamattomiin tilanteisiin tulee olemaan ylivoimainen tietokoneisiin nähden vielä huomattavan pitkään. Näiden kahden tekijän yhdistelmä johtaa tilanteeseen, jossa ihminen käyttää järjestelmää asettamalla sille tehtäviä ja toimintasääntöjä, mutta tietokoneet käyttävät laitteita. Tällöin keskeiseksi onnistumisen edellytykseksi nousee **ihmisen ja järjestelmän välisen rajapinnan hallinta**, tietojärjestelmien kyky ottaa vastaan, prosessoida ja tuottaa tietoa ihmisen ymmärtämässä muodossa sekä erilaisten miehittyjen ja miehittämättömien järjestelmien välinen yhteistyö ja sitä tukevien verkostojen toimintakyky.

Puolustusmateriaalin kustannusten arvioidaan kohoavan tarkastelujaksolla 7-10 % vuodessa, eli järjestelmien hinta kaksinkertaistuu 7-10 vuoden välein. Kustannusnousu on kuitenkin hillittävisä, mikäli asevoimat kykenevät hankkimaan järjestelmiä tehokkaammin sekä hallitsemaan niiden **elinjaksokustannuksia**. Elinjaksokustannusten hillitseminen on mahdollista etsimällä vaihtoehtoisia konsepteja saavuttaa tavoiteltu suorituskyky sekä käyttämällä tarkoituksenmukaista teknologiaa ja luomalla kyky integroida uutta - ja usein kaupallista - teknologiaa puolustusjärjestelmiin.

Järjestelmien monimutkaistuminen ja verkottuminen sekä järjestelmäelementtien erilaiset elinjaksot pakottavat materiaalivastuulliset organisaatiot kehittämään **järjestelmäsuunnitteluun ja järjestelmänhallintaan liittyvää osaamista** ja menetelmiä. Kustannuskehitys yhdessä teknologian nopean vanhenemisen myötä johtaa siihen, ettei järjestelmiä ole varaa korvata niiden suorituskyvyn vanhennuttua, vaan niiden suorituskykyä ylläpidetään erilaisin ohjelmisto- ja

laitteistopäivityksin. Esimerkiksi USA:ssa on yhä palveluskäytössä 50 - 60 vuotta vanhoja lentokonejärjestelmiä. Järjestelmien elinjakson aikaisten päivitysten onnistuminen edellyttää niiden elinjakson suunnittelemista jo hankintavaiheessa.

Seuraavan 20 vuoden aikajänteellä **kriittinen suorituskyky muodostuu** yhteiskäytöisestä **sensorijärjestelmästä**, robustista elektronista taistelua kestävästä ja liikettä sekä hajautettua johtamista tukevasta **tiedonsiirtoalustasta**, tekoälyyn tukeutuvasta **päätöksentekojärjestelmästä**, erilaisia tappavia ja ei-tappavia menetelmiä hyödyntävästä **integroidusta vaikuttamiskyvystä**, **kyvystä hallita sähkömagneettista spektriä**, **joukon kokonaissuojasta** ja sen osana kyvystä suojautua kaukolaukaistavia täsmäaseita vastaan, **kyvystä suojautua biohyökkäyksiä vastaan** sekä tehokkaasta **logistiikka ja kunnossapitojärjestelmästä**.

Kriittisten järjestelmien suorituskykyjen hallintaan on tunnistettu **viisi strategista teknologia-alueita**. Näistä kolme liittyy suoraan teknologioihin, yksi kykyyn yhdistää eri teknologioita sotilaallisiin tarkoituksiin ja yksi menetelmiin, joilla uutta suorituskykyä luodaan ja uusia teknologioita otetaan käyttöön. Tärkeimmät tutkimus- ja kehittämisalueet ovat:

- 1. informaatioteknologia**, erityisesti ohjelmistotekniikka, kognitiivinen tiedonkäsittely, tiedon louhinta, hajautettu tekoäly, radio- ja tutkatekniikka, langattomat tiedonsiirto- ja verkkoteknologiat, ihmisen ja järjestelmän välisen rajapinnan hallinta, digitaalinen signaalinkäsittely, radiotaajuisten aseiden teknologiat, optroniset sensorit, antisensoriteknologiat sekä omatunnistus, tietoturva- ja tietojärjestelmäsodankäynnin teknologiat, mallinnus, simulointi, emulointi ja synteettiset ympäristöt. Informaatioteknologian etuna on myös se, että tehdyt innovaatiot ovat helposti monistettavissa.
- 2. bioteknologia**, erityisesti BC-uhkien ilmaisu ja tunnistaminen, lääketieteellinen suoja ja parantaminen sekä henkilöiden ja tilojen suojaamiseen ja puhdistamiseen tarvittavat teknologiat.
- 3. materiaaliteknologiat**, erityisesti herätteen hallinta (heitteet, suojaverhot ja vaikeasti havaittavat materiaalit), mutta myös uudet rakennemateriaalit ja älyrakenteet, mikrosähkömekaaniset järjestelmät, tehoelektronikka sekä uudet energeettiset materiaalit.
- 4. hybriditeknologiat**, eli kyky yhdistää eri teknologia-alueita, erityisesti sähkön tuotanto ja varastointi, robotiikka.
- 5. kyky hallita suorituskyvyn luomista** ja ottaa uutta teknologiaa käyttöön, erityisesti kyky suunnitella ja hallita järjestelmäarkkitehtuuria, järjestelmän tuottamia palveluita, järjestelmäkonfiguraatiota ja suorituskyvyn sekä järjestelmien elinjaksoa ja elinjakso kustannuksia.

Teknologinen kehitys mahdollistaa radikaalin muutoksen suorituskykyyn. Teknologisen kehityksen tarjoaman potentiaalinen valjastaminen sotilaalliseksi suorituskyvyksi edellyttää myös tekniikkaan liittyvien asenteiden, organisaatioiden, toimintatapojen ja osaamisen kehittämistä.

Keskeiset suositukset seuraavien 20 vuoden kehittämiselle ovat:

- Joukkoja kehitetään modulaarisiksi ja komponenttipohjaisiksi madaltamalla joukkohierarkiaa, määrittämällä ja vakioimalla perusmoduulit nykyistä matalammalla tasolla (komppaniat, patterit jne.) ja luomalla joustava suunnittelu-, johtamis-, huolto- ja logistiikkajärjestelmä, joka voidaan skaalata tuettavan joukon mukaan.
- Puolustusjärjestelmää kehitetään verkostopohjaisen arkkitehtuuriin perustuvaksi. Järjestelmät kehitetään modulaarisiksi määrittämällä ja hallitsemalla niiden toiminnallisia ja teknisiä arkkitehtuureja, konfiguraatiota ja rajapintoja sekä perustamalla ratkaisut avoimiin standardeihin rajapintoihin.
- Suorituskyvyn kehittämisen painopisteiksi asetetaan integroitu tiedustelu-, valvonta-, maalinosoitus- ja johtamisjärjestelmä, tiedonsiirtoalusta, sekä integroitu täsmävaikutukseen sekä elektroniseen vaikuttamiseen kykenevä vaikutusjärjestelmä, joukon kokonaissuojaus ja logistiikka- ja kunnossapitojärjestelmä. Nämä muodostavat kansallisen joint-suorituskyvyn pohjan.
- Etusija annetaan sellaisille teknologioille, jotka tuovat mukanaan radikaalin ja laajalle ulottuvan vaikutuksen suorituskykyyn ohi sellaisten teknologioiden, jotka lisäävät jonkin verran joidenkin järjestelmälustojen suorituskykyä. Esimerkiksi informaatioteknologialla epäsuoran tulen tarkkuutta voidaan parantaa merkittävästi suhteellisen pienin kustannuksin, kun taas ballistiikkaa kehittämällä voidaan saada aikaan rajallinen parannus suurin kustannuksin. Tarvitaan kuitenkin menetelmä, jolla voidaan arvioida uudella tekniikalla tai järjestelmillä saatava suorituskykytason nosto käytettyä euroa kohti. Tämä tulisi olla normaali menettely evaluoitaessa hankkeiden konseptivaihtoehtoja.
- Erityistä huomiota kiinnitetään teknologioihin, jotka voivat romahduttaa elektroniikkaan perustuvan puolustusjärjestelmän kokonaissuorituskyvyn, esimerkiksi suunnatun energian aseisiin ja tietojärjestelmäsodankäyntiin.
- Kehittämisohjelmat ja hankkeet toteutetaan suorituskykypohjaisesti, keskenään koordinoitusti parasta kokonaissuorituskykyä tavoitellen ja puolustusvoimien hankeohjaus- ja hankeauditointijärjestelmän mukaisesti.
- Teknologinen kehittäminen integroidaan doktriinin, taktiikan, järjestelmäkonseptien, joukkoonpanojen sekä koulutusjärjestelmän kehittämisen kanssa.
- Suurempaa huomiota kiinnitetään toimintakykyyn asutuskeskuksissa, asymmetrisissä asetelmissä sekä sotaa matala-asteisimmissä tilanteissa sekä ohjelmistojen hallintaan.
- Kustannusten liiallisen eskaloitumisen välttämiseksi kehittämisohjelmilla tavoiteltava suorituskyky fokusoidaan johonkin toimintatapaan ja toimintaympäristöön. Kriisinhallintayhteistyön puitteissa sovitaan menettelyistä, joiden avulla kansallisen puolustuksen kannalta vähemmän tärkeillä operaatioalueilla voidaan tukeutua muihin maihin sellaisten materiaalinimikkeiden osalta, joita ei ole perusteltua kehittää ja hankkia kansallisesti. Tällaisia ovat esimerkiksi osa ampumatarvikkeista ja räjähdysaineista.

SISÄLLYS

Esipuhe.....	1
Tiivistelmä	1
Sisällys	6
1. Johdanto	8
1.1 Tulevaisuuden kehittymiseen vaikuttavat seikat.....	8
1.2 Oletukset	9
1.3 Suorituskyvyn osatekijät.....	10
2. Säilyvät tekijät	12
2.1 Taistelijan merkitys.....	12
2.2 Läsnäolo	13
2.3 Tulivoima.....	14
2.4 Liike	14
3. Vahvistuvat tekijät	16
3.1 Kaupungistuminen ja sotaa matala-asteisemmat kriisit.....	16
3.2 Informaatiokeskeisyys	17
3.3 Tilannetietoisuus	19
3.4 Avaruuden ja ilmatilan käyttö.....	20
3.5 Tehtävätaktiikkaperusteinen johtaminen	22
3.6 Vaikutusperustaiset operaatiot ja informaationsodankäynti	22
3.7 Kauko- ja täsmävaikutus	23
3.8 Asymmetriset keinot ja niiden vastakeinot	24
3.9 Miehitettyjen ja miehittämättömien järjestelmäelementtien yhteiskäyttö	25
3.10 Elinjakson hallinta	26
4. Heikkenevät tekijät	28
4.1 Raskaat järjestelmät	28
4.2 Suluttaminen ja linnoittaminen	29
5. Kriittiset järjestelmät ja suorituskyvyt.....	31
5.1 Sensorijärjestelmä	31
5.2 Robusti tiedonsiirtoalusta.....	33
5.3 Tekoälyyn tukeutuva päätöksentekojärjestelmä	35
5.4 Integroitu täsmävaikutukseen kykenevä vaikuttamisjärjestelmä.....	36

5.5 Sähkömagneettisen spektrin hallinta.....	38
5.6 Kokonaisuoja.....	40
5.7 Biopuolustus	43
5.8 Logistiikka- ja kunnossapitojärjestelmä	43
6. Keskeiset teknologiat	45
6.1 Informaatioteknologia.....	45
6.2 Bioteknologia.....	47
6.3 Materiaaliteknoologia	48
6.4 HybriditeknoLOGIAT	49
6.5 Järjestelmänhallinta.....	50
7. Vertailu eri maiden kriittisiin teknologioihin	51
8. Johtopäätökset.....	54
8.1 Yleistä	54
8.2 Organisatoriset vaikutukset.....	54
8.3 Vaikutukset varustamiseen	56
8.4 Arkkitehtuuriset vaikutukset	57
8.5 Vaikutukset kehittämisen ohjaamiseen.....	58
Liitteet	60
Liite 1: Käytetyt lyhenteet	60
Liite 2: Käytetyt lähteet	61

1. JOHDANTO

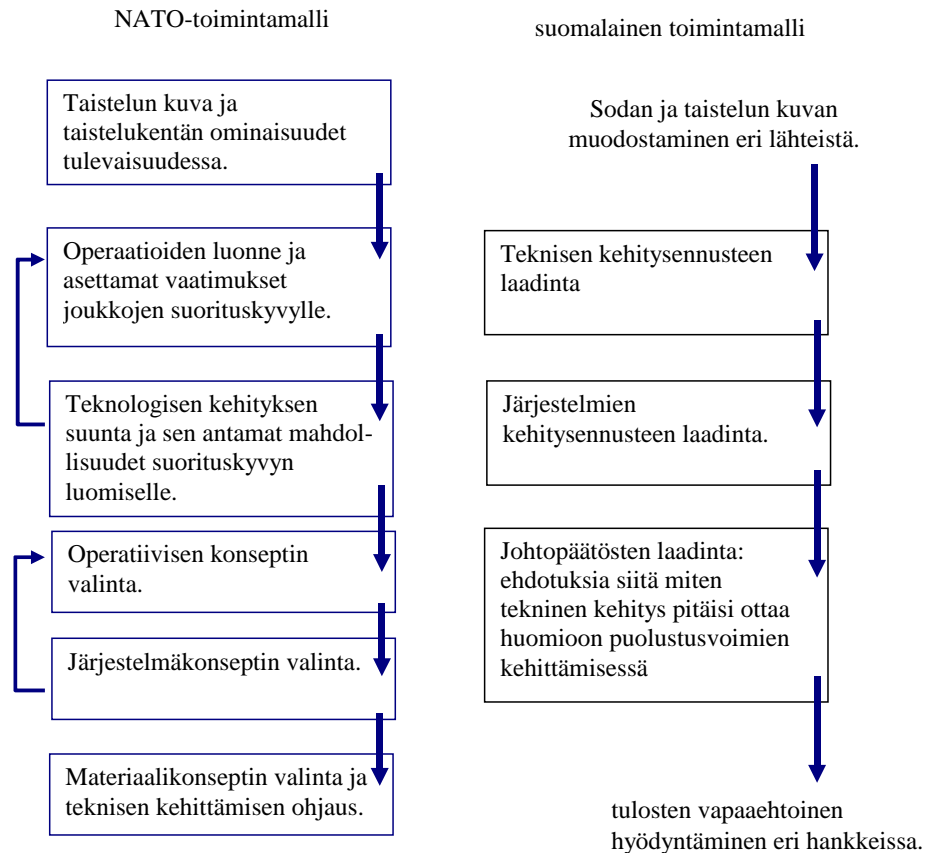
1.1 Tulevaisuuden kehittymiseen vaikuttavat seikat

Tulevaisuuden arviointi edellyttää hyvin monitahoista tarkastelua, jossa eri tekijät vaikuttavat ristiin toisiinsa. Tässä tutkimuksessa on sovellettu yksinkertaistettua mallia, jossa *operatiiviset vaatimukset* ”vetävät” (requirement pull) teknologioita kehittymään ja luovat uusia konsepteja sodankäyntiin ja synnyttävät uudenlaisia ja suorituskykyisempiä järjestelmiä taistelukentälle. Vastaavasti *kehittyvät teknologiat* ”työntävät” (technology push) suorituskykyvaatimuksia mahdollistaen suoritusarvojen parantamisen tai jopa kokonaan uudenlaisen suorituskyvyn luomisen. Tutkimuksen luottavuuden vuoksi kehitystä tarkastellaan suorituskyky- ja konseptilähtöisesti. Kustakin teknisestä tai toiminnallisesta konseptista esitetään sen merkitys sodankäynnille ja kuvataan mikä teknologinen kehitys niiden taustalla vaikuttaa.

Tutkimusta luettaessa on pidettävä mielessä, että tulevaisuus syntyy vain osaksi ulkoisista tekijöistä. Osaksi tulevaisuudesta tulee sellainen millaiseksi se tehdään. Tämän vuoksi tavoitetilan ja suorituskykytarpeen määrittämisen sekä teknisen kehityksen arvioinnin tulisi olla vuorovaikutteista. Tämän kirjoituksen laadinnan yhteydessä se ei ollut mahdollista, mikä hämärtää tarkastelun fokusta sekä heikentää arvion luotettavuutta. Puuttuvan vuorovaikutuksen vuoksi skenaariotarkastelu ei ollut mahdollista, joten tutkimusmenetelmäksi valittiin kirjallisuustutkimukseen perustuva trenditarkastelu sekä suora lähdekirjallisuusanalyysi.

Puolustusvoimien Sotatekninen Arvio ja Ennuste (STAE) muodostaa yhden keskeisen lähdemateriaalin. Sen käytettävyys on kuitenkin rajallinen erilaisten puutteiden vuoksi: perusongelmana on operatiivisen ja teknologisen tahon puuttuvasta vuorovaikutuksesta johtuva yksipuolinen tarkastelu, jossa kokonaisuus syntyy osiensa summasta. Tässä tutkimuksessa sodankäynnin kehitystä on tarkasteltu lähtien päinvastoin kokonaisuudesta ja analysoimalla ensiksi mitkä ovat 10 - 20 vuoden aikajänteellä keskeiset suorituskyvyn osatekijät. Näitä analysoimalla on muodostettu käsitys siitä, mitkä ovat tulevaisuuden taistelun keskeiset järjestelmät ja järjestelmäkomponentit, eli mitkä ovat tärkeät kehittämissuunnat. Näiden teknologiaperustaa analysoimalla ja ristiin korreloimalla puolestaan on haettu keskeiset tutkimus- ja teknologia-alueet. Näitä on verrattu amerikkalaisiin, venäläisiin ja ruotsalaisiin kriittisten teknologioiden luetteloihin. Ulkomaisia lähteitä analysoitaessa on kuitenkin huomattava että ne eivät julkisina asiakirjoina sisällä kaikkea ja että suurvallan suhde teknologiaan voi olla hyvinkin erilainen kuin pienen valtion.

Eri lähteiden avulla on muodostettu käsitys siitä, mitkä ovat Suomen maanpuolustuksen kannalta sellaiset teknologisen kehityksen piirteet, jotka muodostava meille mahdollisuuden tai uhan.



NATO:n toimintamallissa teknologian ja puolustusjärjestelmien kehitystä tarkastellaan vuorovaikuttaisesti, mikä johtaa suomalaista mallia luotettavampaan ja fokusoituneempaan lopputulokseen.

Tutkimukseen on koottu noin 3500-sivuisesta lähdemateriaalista ne keskeiset tekijät ja teknologia-alueet, joilla on vaikutusta nimenomaan suomalaisten näkemään tai kokemaan sodankäyntiin ja joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Siten monet tärkeät tekijät ja teknologia-alueet, joiden ulottuvuus on paikallinen tai merkitys ajallisesti lyhyt, ovat karsituneet esityksestä.

1.2 Olettamukset

Tutkimuksessa käytettiin konservatiivista *olettamusta, että merkittäviä teknologisia läpilyöntejä ei tapahdu ennen vuotta 10-15 vuoden aikajännteellä*. Tutkimuksessa käsitellyt teknologiat ovat laajasti tunnettuja ja nykyisin kehityksen tai tutkimuksen alaisia. Tämän vuoksi tarkastelujakson alkupuolen tekniikan kehitystä voidaan arvioida tarkastelemalla jo kehittämisen alla olevia tekniikoita ja järjestelmäkonsepteja. Tarkastelujakson jälkipuoliskolla kehityslinjien oletetaan jatkuvan samaan suuntaan teknologisen kehityksen mahdollistaessa nyt kehityksen rajana pidettyjen reunaehtojen murtamisen sekä joidenkin kokonaan uusien innovaatioiden luomisen.

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

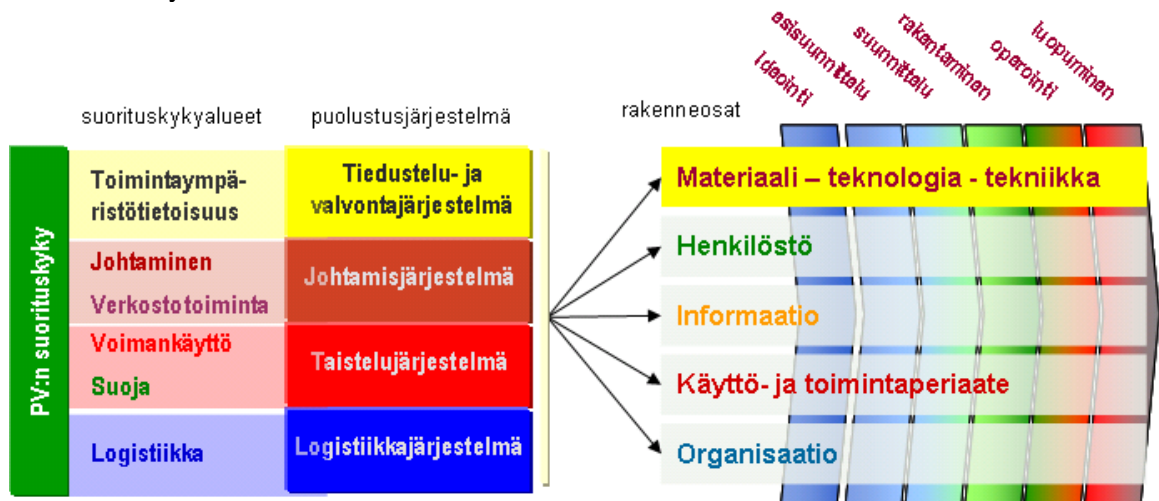
Esimerkiksi piimetallioksiditeknologiaan (MOS = Metal-oxide semiconductor) pohjautuvan nykyisen mikroelektroniikan kehityksen rajat tulevat pian vastaan, mutta ne voidaan arvioida ylitettävän siirtymällä molekyylikytkimiin. Uuden teknologian tie tutkimuksesta massamaiseen käyttöön vie kuitenkin huomattavan pitkän aikaa – esimerkiksi Internet-teknologinen perusta luotiin 1970-luvulla, mutta se yleistyi vasta muiden tekniikan alueiden kypsyttyä 1990-luvulla. Teknologian kehitys soveltavan tutkimuksen tasolta sotavarusteeksi kestää yleensä 15–20 vuotta, tai jopa pidempään, joten tässä tutkimuksessa keskityttiin kehittyviin teknologioihin, joiden voidaan arvioida tuottavan tähän teknologiaan perustuva järjestelmiä operatiiviseen käyttöön vuoteen 2020 mennessä. Teknologiset ilmiöt ovat pitkälti yleismaailmallisia, vaikka niiden soveltaminen järjestelmiin vaihtelee eri maissa.

1.3 Suorituskyvyn osatekijät

Sotilaallinen suorituskyky muodostuu

- operatiivisesta suorituskyvystä ja sille asetetuista vaatimuksista,
- toiminnallisuuksista, jotka on jaettu suorituskykyalueisiin ja näille kohdistettavista vaatimuksista,
- puolustusjärjestelmästä osajärjestelmien sekä näiden rakenneosista.

Tässä teknologisen kehityksen huomioimiseen tähtäävässä tutkimuksessa keskitytään luonnollisesti materiaaliin. On kuitenkin huomattava, että kehitettävästä puolustusmateriaalista sekä tälle luotavasta tukeutumisympäristöstä (koulutus, harjoittelu, kunnossapito ja logistiikka) ja näiden oikeasta käyttökyvystä riippuu se missä määrin teknologian mahdollistama suorituskyky lopulta realisoituu käyttöömme.



Puolustusjärjestelmän suorituskyvyn rakenne suomalaisen käsitelmän mukaan.

Teknologian tarjoaman suorituskyky potentiaalın käyttöön saaminen riippuu myös materiaalin elinjakson eri vaiheisiin kohdennettavasta henkilöstä sekä tämän resurssin organisoinnista ja toimintatavoista. Henkilöstön rakenteeseen, koulutukseen ja organisaation muodostaman kokonai-

suuden kehittämiseen on kiinnitettävä riittävästi huomiota, jotta tässä tutkimuksessa esitettävä tulevaisuus voidaan luoda. Nykyisin rakentein se ei kaikilta osin tule onnistumaan.

Kolmantena keskeisenä tekijänä on kehittää operaatiotaitoa ja taktiikkaa sekä toiminnan lainsäädännöllistä pohjaa *etupainoisesti* ja yhdessä joukon sekä materiaalin kanssa. Jos näitä ei kehitetä koordinoitusti, tulevaisuutta ei monilta osin tehdä, vaan se syntyy sattumanvaraisesti.

Teknologian hyödyntäminen edellyttää siten toimintatapamuutosta ja organisaation kehittämistä. Toisaalta on nähtävissä, että teknologian ei pitäisi johtaa kehitystä, vaan sen roolina on toimia kehityksen katalysaattorina, joka jossakin vaiheessa mahdollistaa joitakin operatiivisia toiminta-ajatuksia ja tarjoaa erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja operatiivisiin tarpeisiin. Teknologista kehitystä on kuitenkin seurattava ja ennakoitava ja tekniikkaa on kehitettävä koordinoitusti doktriinin kanssa.

2. SÄILYVÄT TEKIJÄT

2.1 Taistelijan merkitys

Huolimatta sodankäynnin teknistymisestä **ihmisen ominaisuuksilla kuten arviointikyvyllä, kurilla ja rohkeudella on olennainen merkitys**. Vastustajan voittaminen järkeilemällä, murtaaminen tai viime kädessä tappaminen samalla kuin itse säilyttää moraalisen yliotteen, on keskeistä menestyksen saavuttamiseksi. Sotilailta edellytetään hyvää johtamistaitoa, epäitsekkyyttä, itsetuottamusta, korkeata moraalialia, fyysistä rohkeutta ja taistelutahtoa. Näiden **arvojen asteittainen murtuminen länsimaisessa yhteiskunnassa muodostaa haasteen**. Taistelukentän kasvava tyhjiys sekä kehittyvät teknologiat merkitsevät **radikaaleja muutoksia johtamismenetelmiin, -tapoihin, -rakenteisiin ja -kykyyn**. Informaatioteknologia lisää taistelun tempoa ja operaatioiden nopeutta helpottamalla ja tukemalla päätöksentekosykliä.

Ennen pitkää tullaan siihen tilanteeseen, että **ihminen ei enää kykene teknologian mahdollistamaan 24 tunnin yhtämittaisiin nopeatempoisiin operaatioihin**. Robotiikan ja informaatioteknologian kehittyminen mahdollistaa ongelman osittaisen ratkaisun.



Tekninen kehitys ei tule syrjäyttämään taistelijaa sodankäynnin tärkeimmän elementin paikalta. [SA-kuva].

Teknologia korvaa johtajaa päätöksentekoprosessissa. Informaatioajan teknologiat on valjastettava päätöksenteon tukemiseksi siten, että data ei syrjäytä viisautta taistelukentällä ja että

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

todellinen johtaminen – joka saa miehet taistelemaan – vahvistuu uudella teknologialla. Kehittyvillä ihminen–järjestelmä–rajapinnoilla tätä voidaan tukea.

Yksittäisten taistelujoiden suojaamisessa materiaaliteknologian kehittyminen ja ampumatarvikkeiden läpäisyprosessin parempi ymmärrys ovat pääasialliset suojauslisätekijät. Lämpösuoja-asut vähentävät infrapunaherätettä ja suojaavat taistelijoita myös äärimmäisten ilmasto-olosuhteiden vaikutuksilta. Radikaalia kehitystä ei ole odotettavissa. Bioteknologian ajatellaan tarjoavan uusia menetelmiä tuottaa ja varastoida ruumiin nesteitä, erityisesti veriainetta, mikä parantaisi suuresti haavoittuneiden todennäköisyyttä selvitä hengissä. Myös informaatioteknologian mahdollistama telelääketiede lisää korkeatasoisen hoidon mahdollisuuksia ja siten parantaa hengissä selviämistä taistelukentällä.

Teknologisen kehityksen seurauksena ei ole nähtävissä mitään sellaista yksittäistä taistelijan suorituskyvyn parantumista, jolla olisi strategista merkitystä.

2.2 Läsäolo

Vaikka taistelun kuvan mukaisesti modernissa taktiikassa tavoitteena ei olekaan alueiden haltuun ottaminen tai puolustaminen, vaan vihollisen voimaan iskeminen, on sodankuvan muutos kuitenkin korostamassa usein pitkäaikaista läsnäoloa operaatioalueella. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että jatkuvaa läsnäoloa edustava elementti, kuten panssarivaunu tai merivoimien alus, säilyttäisi nykyisen muotonsa ja roolinsa myös vaikuttamisjärjestelmän primäärisenä lavettina. Lisäksi on huomattava, että toiminta-alueen olosuhteet eivät välttämättä muistuta sotaa, joten sodankäyntiin optimoitu puolustusmateriaalikaan ei välttämättä ole optimaalista. Vastustaja pyrkii käyttämään tätä tietoisesti ja häikäilemättä hyväkseen. **Siten keskeisiksi nousevat myös taistelukyvyyn säilyttämiseen ja ei-tappaviin aseisiin sekä ihmishenkien säästämiseen liittyvät teknologiat.**



Läsäolon ja siten taistelujoiden merkitys säilyy, vaikka teknologia mahdollistaa etätoimintoja. [J. Kosola]

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

2.3 Tulivoima

Tulivoimalla on keskeinen merkitys sekä vastustajan lyömisessä että ennaltaehkäisevänä pelotetekijänä. Sodan ja taistelun kuvan muuttumisen myötä oheisvaurioiden sekä tilanteeseen nähden liiallisen voimankäytön välttäminen tulee yhä tärkeämmäksi. Tämä korostaa hallitun täsmävaikutuskyvyn sekä ei-tappavien menetelmien merkitystä.



Tulivoima tulee aina olemaan tärkeä sekä vastustajan lyömisessä että ennaltaehkäisevänä pelotetekijänä. Sodan ja taistelun kuvan muuttumisen myötä täsmävaikutuskyky korostuu. [SA-kuva]

2.4 Liike

Tiedustelu-, valvonta- ja maalinosoitus- ja johtamisjärjestelmien sekä kaukovaikutteisen tulenkäytön järjestelmien kehittyminen pienentää maavoimien raskaiden yksiköiden ja raskaiden telalavettien merkitystä. Seuraavien 20 vuoden ajan kaikki maa- ja ilmalavetit kehittyvät asteittaisesti ja niiden nopeus ja kantama kasvaa samalla kun polttoainenkulutus ja ajoneuvojen herätetaso laskevat. Toisaalta ympäristöystävällisyysvaatimukset voivat pienentää suorituskyvyn kasvupotentiaalia. Tämä muutos perustuu sekä materiaalien että osakomponenttien kehittymiseen. Kevyet ajoneuvot, sensorit ja aseet tehostavat ilmakuljetuksia ja pienentävät miehistöjä. Lisääntyvä automatisointi pienentää edelleen ajoneuvojen ja järjestelmien kokoja ja painoja.

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

Radikaalia kehitystä ajoneuvoteknologiassa ei ole odotettavissa. Edes tarkastelujakson lopussa mahdollisesti käyttöön tuleva täysin sähköisen ajoneuvon konsepti (AEV, All-Electric Vehicle) ei sellaista muodosta. On kuitenkin huomattava, että sähköisen ja hybridivoimansiirron teknologiat mahdollistavat monimutkaisista, tilaa vievistä ja painavista mekaanisista voimansiirtolaitteistoista luopumisen ja niiden korvaamisen pyörän keskiöön sijoitetuilla sähkömoottoreilla. Tällaiset ajoneuvot ovat nykyisiä kevyempiä, pienempiä, maastoliikkuvampia ja luotettavampia. Saavutettavissa voi olla jopa kertaluokan tehonlisäys nykyiseen verrattuna.



Yleisen teknologisen kehityksen myötä järjestelmät kevenevät, mikä yhdessä propulsio- ja materiaali-teknologioiden kehittymisen kanssa parantaa lavettien taisteluteknistä liikehtimiskykyä, mutta ajoneuvo-teknologia ei tule merkittävästi parantamaan joukon taktista liikkuvuutta. [Patria]

Radikaalia muutosta ei ole odotettavissa myöskään ilmakomponentin suhteen, sillä fysiikan lakien ja materiaalien energia/paino ja lujuus/paino -suhteissa tai lentävän kaluston hinnanmuodostuksessa ei ole tapahtumassa näitä edellyttäviä radikaaleja muutoksia. Siten, vaikka nämä järjestelmät ovat kriittisiä sodankäynnin kannalta, niiden kehityksessä ei ole tapahtumassa vallankumouksellista muutosta. Toisaalta miniatyrisoituminen ja kaupallisen teknologian tehokas soveltaminen mahdollistavat suhteellisen edullisten mini- ja mikrolennokeiden kehittämisen ja hankkimisen. Sen sijaan taktiset, operatiiviset ja strategiset lennokkijärjestelmät ovat edelleen kalliita ja niiden suorituskyky on rajallinen. Robotiikan ja robottiaseiden käyttöön liittyvän asenneilmapiirin kehittymisen ei arvioida mahdollistavan taistelulennokeiden laajamittaista käyttöön-ottoa tarkastelujaksolla.

3. VAHVISTUVAT TEKIJÄT

3.1 Kaupungistuminen ja sotaa matala-asteisemmat kriisit

Vuoteen 2020 mennessä noin 70 % maailman väestöstä asuu taajamissa, mikä johtaa väistämättä siihen, että nykyisessä kriisinhallinnan kehityskulussa tulevaisuuden kriisipesäkkeet keskittyvät taajamiin. Myös Suomen kansallisessa puolustuksessa taistelujen käyminen siirtyy huomattavassa määrin, vaikkakaan ei kokonaan, urbaaniympäristöön. Informaatioyhteiskunnan elintärkeiden rakenteiden uhkaamiseen ja niiden turvaamiseen on parhaat edellytykset taajamissa. Kaupunkiympäristössä toimiminen edellyttää erittäin tarkkaa, reaaliaikaista ja luotettavaa tilannekuvaa, nopeaa reagointikykyä sekä kykyä säädellä voimankäyttöä.



Taistelu asutuskeskuksissa edellyttää erilaista teknologiaa kuin toiminta avo- tai metsämaastossa. [Savox]

Siviiliyhteiskunta asettaa merkittäviä rajoitteita järjestelmien käytölle asutuskeskuksissa, joita ei tulevaisuuden sodassa todennäköisesti ole evakuoitu ennen taisteluiden alkamista. Urbaaniympäristön asettamat vaatimukset ovat keskeisiä ei-tappavien aseiden ja esteiden teknologioiden kehittämässä. Asutuskeskukset ovat haasteellinen ympäristö myös tiedustelu- ja valvontajärjestelmille ja spektrin hallinnalle.

Urbaaniympäristössä on huomioitava myös siviiliväestön oleskelu operaatioalueella. Lisäksi joukkojen varustamisessa on otettava huomioon sotilaallisen voiman näyttö ja jopa käyttö sotaa matala-asteisemmissä kriiseissä. Tällöin voimankäyttöä on kyettävä säätämään tilanteen ja tarpeen mukaan tappavasta joukon hallintaan riittävään vaikutukseen. Suomen osallistuminen kansainväliseen kriisinhallintaan korostaa tätä suorituskykyaspektia. Esimerkiksi jalkaväkimiinojen korvaaminen vastavalla suorituskyvyllä ei välttämättä ole vastaus tulevaisuuden suorituskykytarpeeseen, jossa suojaheitteeltä tulee voida edellyttää myös liikkeen lamauttavaa tai lähestymisen estävää suorituskykyä pelkän tappavan sijaan.

Kehityksestä voi tulla merkittävä haaste kotimaan puolustamiseen ulkoisia uhkia vastaan keskittyville

valtioille. Kehityksen merkittävin vaikutus voi olla sotateknologisen kehittämisen yleinen suuntautuminen vastaamaan pelkästään perinteistä sotaa matala-asteisempien kriisien tarpeita. Tällöin teknologia kehittyä muodostamaan jopa yksilön tunnistamiseen pyrkivää reaaliaikaista tilannekuvaa, suojaamaan joukkoa terroristihökkäyksiltä ja vaikuttamaan yksittäisiin jäljitettäviiin taistelijoihin, jotka sekoittuvat siviiliväestön sekaan. Tällaisella teknologialla, joka lisäksi on

kehitetty täydellisen ilman ja spektrin herruuden olosuhteisiin, ei juurikaan ole toimintaedellytyksiä tai kustannustehokkuutta perinteisellä taistelukentällä. Mikäli länsimaiden huomio ja siten hankinnat keskittyvät täysin kriisinhallinnan kaltaisiin konflikteihin, puolustusteollisuudellakaan ei ole halua eikä tilausten puuttumien vuoksi kykyäkään kehittää perinteiseen sodankäyntiin soveltuvia teknologioita. Tällöin länsimainen aseteknologia voi hyvinkin jäädä kehityksestä jälkeen.

3.2 Informaatiokeskeisyys

Informaatiokeskeisyys on ajattelutapa, joka ilmenee toiminnan organisoimisessa, toimijoiden roolien ja toimintaprosessien määrittämisessä ja järjestelmien rakenteena. Informaatiokeskeisyyden myötä puolustushaarojen, aselajien ja toimialojen väliset rajat hämärtyvät, elementin omistamisen merkitys pienenee ja palvelukonseptien merkitys kasvaa. Informaatiokeskeisyys ei siten ole teknologia, tekniikka tai järjestelmä, mutta näiden mahdollistama täysin uuden tyyppinen suorituskyky. **Informaation mahdollistaman potentiaalın muuttaminen operatiiviseksi suorituskyvyksi edellyttää kuitenkin merkittäviä muutoksia asenteissa ja osaamisessa.**

Informaatiokeskeisessä ajattelutavassa keskeistä on palvelu ja konsepti, jolla tämä palvelu tuotetaan sitä tarvitseville. Informaatiokeskeisen konseptin merkittävimpänä toteutusperiaatteena on verkostoon perustuva toimintatapa, organisaatio ja tekniikka. Siinä palvelut tuotetaan yhteiskäyttöisillä elementeillä, jotka kuuluvat johonkin seuraavista kategorioista:

- sensorelementit
- tiedonsiirtoverkko
- johtamisjärjestelmä mukaan lukien ihmiset päätöksentekijöinä
- vaikuttamiselementit

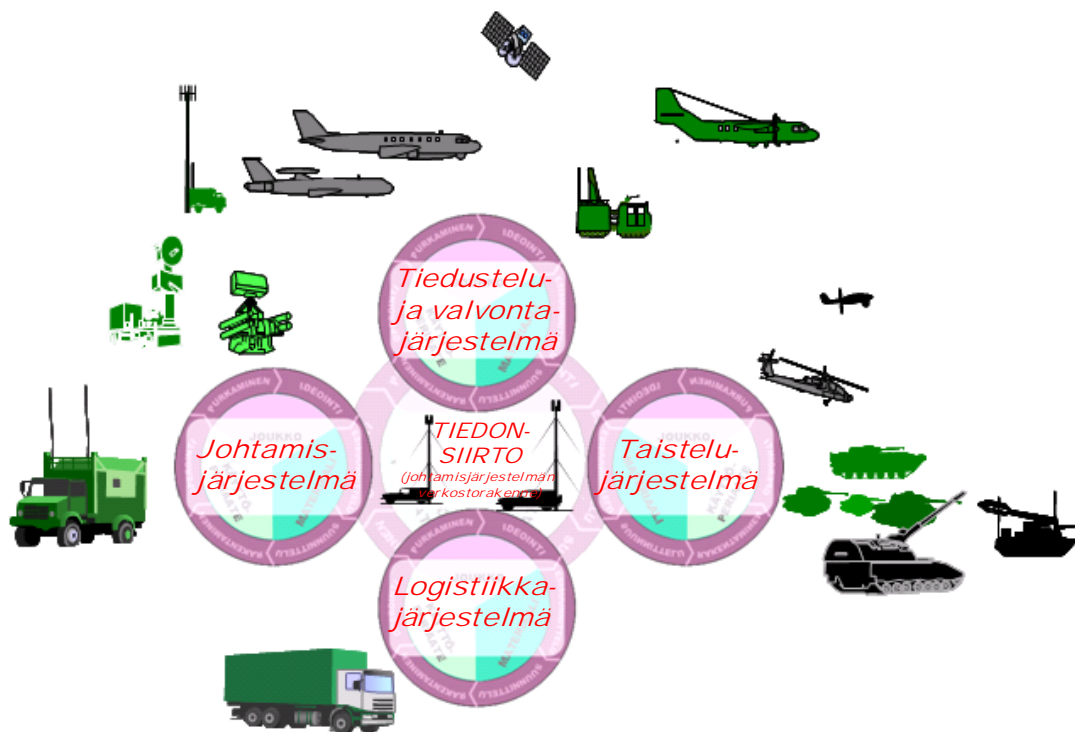
Hajautetut elementit yhdistetään toisiinsa sähkömagneettisen spektrin välityksellä. Tämä lisää järjestelmien haavoittuvuutta spektrin kautta kohdistuville uhkille. Siten kyky todentaa ja varmistaa järjestelmien toimintaedellytykset elektronisen taistelukentän olosuhteissa nousee kriittiseksi osaamisalueeksi. Elektroninen suojautuminen ja häiveteknologia ovat tärkeimmät tätä osaamista tukevat teknologiat. Lopulta syntyy kokonaisuus, jossa elementtien omistaminen on irrotettu niiden palveluiden hyödyntämisestä. Tällöin sensorit ja vaikuttamiselementit ovat yhteisiä ja yhteiskäyttöisiä.

Verkostoitumiskehitys johtaa väistämättä seuraaviin ilmiöihin:

- **Strategisen, operatiivisen ja taktisen tasan raja hämärtyy** ja joiltakin osin katoaa kokonaan. Muutos on jo alkanut näkyä 2000-luvun alkuvuosina, mutta kehitys kiihtyy ja syvenee tarkastelujakson aikana.
- Valtakunnallisen **tilannekuvan muodostamisesta vastaa oma organisaationsa**, jonka tuottamaa tietoa käytetään kaikilla toiminnan tasoilla ja kaikilla toimialoilla
- Tiedustelun ja operatiivisen alan uudelleenryhmittäminen: kumpikaan ei omista sensoreita ja lavetteja, vaan käyttävät niiden suorituskykyä siltä osin kuin tarvitsevat.

- Kömpelöt ja raskaat **yhdistetyt sensori-ase-lavetit tulevat kustannustehottomiksi.**
- **Aselajien väliset rajat ja työnjako hämärtyvät:** älykäs miina voi olla sekä valvonta-sensori, tiedonsiirtosolmu, panssarintorjunta-ase ja mahdollisesti jopa matalalla lentäviä helikoptereita vastaan toimiva ilmatorjunta-ase, johtamisjärjestelmän radiosolmu sisältää myös paikantamisjärjestelmän vastaanottimen ja kykenee toimintaympäristönsä elektroniiseen valvontaan ja tarvittaessa myös häirintään.
- Verkkoelementtien välinen työnjako hämärtyy: samaa elementtiä voidaan käyttää sensorina, aseena ja tiedon välittäjänä.

Edellä kuvattu tarkoittaa sitä, että puolustushaarojen ja aselajien merkitys vähenee, kun taas puolustusvoimien yhteisten järjestelmien sekä toiminnallisten kokonaisuuksien (toimialojen) merkitys korostuu.



Verkostoituminen tapahtuu kaikilla tasoilla: järjestelmät verkottuvat, niiden sisällä elementit verkottuvat ja lopulta elementtien sisällä moduulit verkottuvat. Ilmiö pätee niin sensoreihin, tiedonsiirtoon ja johtamisjärjestelmään kuin eri asejärjestelmiinkin [J. Kosola].

Verkostolähtöisyys tarkoittaa myös sitä, että **jokainen järjestelmäelementti on ensisijaisesti informaatiojärjestelmä ja kokonaisuuden osa**, joka toisaalta hyödyntää verkon muiden elementtien tuottamia palveluita ja toisaalta tuottaa verkkoon palveluita. Tämän kyvyn aikaansaaminen edellyttää sitä, että puolustusvoimiin luodaan organisaatio, joka suunnittelee järjestelmän tuottamat ja kultakin elementiltä vaatimat palvelut sekä määrittää millaisin säännöin elementit liittyvät järjestelmään.

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

3.3 Tilannetietoisuus

10-20 vuoden aikajänteellä voidaan luoda yhteinen käsitys tilanteesta, joka mahdollistaa yhteistyöhön pohjautuvan (collaborative) hajautetun päätöksenteon nykyisen yhteen sovitettuihin erillisiin päätöksiin perustuvan toimintatavan sijaan. Teknologisen kehityksen merkitys tilannetietoisuuden parantamisessa on keskeinen. Sitä voidaan kuitenkin hyödyntää vain, mikäli johtamisjärjestelmä muutetaan suunnitelmalähtöisestä tavoitelähtöiseksi, keskitetystä hajautetuksi ja vertikaalisesta komentoketjusta horisontaaliseksi yhteistyöverkostoksi. Tämä edellyttää doktriinin, organisaatioiden ja prosessien radikaalia muuttamista nykyisestä.



Tilannetietoisuus on keskeinen tekijä operaatiotemmon ylläpitämisessä - ja sen osana tulenavauksen nopeudessa. [Patria]

Teknisen ja toiminnallisen kehityksen ensivaiheena on ollut oman tilannekuvan jakaminen muille. Tällöin päätöksen siitä, kenelle tietoja annetaan, on tehnyt tiedon hankkija. Kehityksen seuraavassa vaiheessa on luotu yhteinen tilannekuva yhdistämällä eri lähteistä saatavaa informaatiota yhteisiin tietokantoihin. Seuraavana kehitysvaiheena 10 vuoden aikajänteellä on luoda **sensoreiden todellinen yhteiskäyttö**.

Avoimen lähteen tiedustelulla on keskeinen merkitys tilannekuvan muodostamisessa. Tämä korostaa **järjestelmien verkottumisen ja verkostomaisen toiminnan tärkeyttä oman tilannekuvan ylläpitämisessä**. Yhteiskunnallisten, teknologisten sekä sodan ja taistelun kuvien muutosten myötä ennen salassa pidettyjä ja vain valtiollisten tai sotilaallisten tiedustelukanavien kautta saatavissa ollutta tietoa on koko ajan enemmän saatavissa globaaleista tietoverkoista. Näiltä suojautumiseksi paras keino ei välttämättä ole salaaminen, vaan harhauttaminen, jolla vastustajan saatavilla olevan tiedon merkitystä voidaan mitätöidä.

Vaikka tilannetietoisuuden luominen perustuu ensisijaisesti tieto- ja tietoliikenneteknologioiden hyödyntämiseen, se vaatii myös merkittävää tukea käyttäytymistieteiltä, jotta voidaan taata informaation optimaalinen esittäminen johtajille sekä pystytään välttämään informaatioähkyä. Samoin yksilön ja ryhmän päätöstekniikoiden ymmärtäminen on **informaatiovirran hallinnan edellytys**.

Tilannetietoisuuteen liittyy myös omien tunnistaminen taistelukentällä. **Teknologian kehittyminen sekä lavettien kallistuminen tekee tarkastelujakson aikana sekä omapaikan ilmoittamiseen (blue-force tracking) että aktiiviseen kyselyyn (battlefield ID) perustuvasta omien**

tunnistamisesta perustellun ratkaisun omasta tulesta johtuvien tappioiden välttämiseen sekä tulenavauksen nopeuttamiseen.

3.4 Avaruuden ja ilmatilan käyttö

Yhteydellä olevat esteet rajoittavat merkittävästi sähkömagneettisen spektrin käyttöä oli kyse sitten yhteydestä maalin ja sensorin tai lähettimen ja vastaanottimen välillä. Karkeasti yleistäen voidaan sanoa, että pienikapasiteettisia tai lyhyen kantaman järjestelmiä voidaan rakentaa terestriaalijärjestelminä, mutta suuri kapasiteettisen ja laajalla alueella toimivan järjestelmän kustannustehokas rakentaminen edellyttää pääsyä joko ilmaan tai avaruuteen.

Suurvallat ovat ratkaisseet ongelman sekä ilmaan sijoitettujen sensoreiden, kommunikaatio-solmujen ja johtamispaikkojen että avaruuteen sijoitettujen sensori- ja toistinsatelliittien avulla. Suomen kaltaisella pienellä toimijalla ei ole mahdollisuutta kumpaankaan ilman liittoutumista.



Satelliittien käyttö sodankäynnissä mahdollistaa kriisinkestävän laajakaistaisen tiedonsiirron myös tilanteissa, joissa kuituverkkoa ei ole käytettävissä. [J. Kosola]

Toisaalta joukkojen vähentäminen operaatioaluetta pienentämättä ja taistelutempon lisääminen edellyttävät joko terestriaali-infrastuktuuria tai avaruuden hyödyntämismahdollisuutta. Ensin

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

mainittu on haavoittuva, taktiseen käyttöön heikosti soveltuva ja kansainvälisistä operaatioista kokonaan puuttuva. Tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmän suorituskyky ja rakenne riippuvat huomattavan paljon siitä, voidaanko osa siitä sijoittaa ilmaan tai avaruuteen vai onko se kokonaan maan päällä (tai maan alla). Avaruuden käyttö mahdollistaa liikkuvan verkostokeskeisen puolustuksen sekä puolustushaarojen yhteisoperaatiot koko maan alueella. Jos avaruutta ei voida hyödyntää, on puolustus rakennettava hajautettuihin tarvittaessa autonomisesti toimintakykyisiin verkkoihin pohjautuvaksi.

Suomen kannalta olennainen kysymys on sotilaallisten ja kaupallisten satelliittien suorituskyvyn hyödyntäminen tiedustelu-, viestintä-, paikantamis- ja aikareferenssikäytössä. Avaruuden merkitystä voidaan kompensoida seuraavin järjestelmä- ja teknologiaratkaisuin:

- Sirotettavat autonomiset sensoriverkot ratkaisevat osan valvontajärjestelmien ongelmasta, mutta eivät juuri tue tiedustelua ja maalinosoitusta.
- Ad hoc -verkot taktisella tasalla, kuituverkko ja laserlinkit operatiivisella tasalla mahdollistavat pataljoonien ja prikaatien liikkuvan johtamisen sekä kiinteän ja siirrettävän operatiivis-strategisen johtamisen.
- Laserhyriin pohjautuvat inertiaratkaisut sekä paikantamista tukevat aaltomuodot mahdollistavat rajallisen paikantamiskyvyn myös ilman satelliitteja, mutta erityisesti kauko-vaikutteiset täsmäaseet edellyttävät satelliittipaikantamissignaalin käytettävyyttä.
- Mikropiiritason atomikellot mahdollistavat aikareferenssin ja järjestelmien synkronoinnin ilman satelliitista saatavaa kellosignaalia.

Edellä esitetyistä kompensoivista tekijöistä huolimatta satelliittijärjestelmien käyttökyky on yksi keskeisistä kansallisista intresseistä.

Teknologinen kehitys lisää elektroniikan suorituskykyä samalla kun sen koko pienentyy ja komponenttien hinta laskee. Ennen pitkää teknologinen kehitys mahdollistaa täysin uudentyypisten sovellusten kehittämisen, kuten kuvan miniatyrisoidun hajautetun sensoriverkon IP-solmun. [J. Kosola]



Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

3.5 Tehtävätaktiikkaperusteinen johtaminen

Hyvä tilannetietoisuus mahdollistaa nopean päätöksenteon ja siten yllättäviin tilanteisiin reagoimisen ja jopa tilanteen kehittymistä ennakoivan toiminnan. Tämä mahdollistaa päätöksenteon hajauttamisen sinne, missä on paras tilannetietoisuus ja edellytykset päätösten nopeaan toimeenpanoon. Operaatiotempon merkittävä lisääminen edellyttää luotettavan ja ajantasaisen tilannekuvan jakamisen lisäksi ennen kaikkea konseptuaalista siirtymistä tehtävätaktiikkaan, eli johtamismalliin, jossa komentaja määrittää haluamansa lopputuloksen puuttumatta kovin suurella määrällä siihen, miten lopputulokseen tulee päästä. Käsitteellisesti C2 ei tarkoita *Command & Control*, vaan *Command & Consultation*. Johdettavan kontrollista siirrytään tekijän tukemiseen tiedolla ja verkoston resurssien käyttöoikeuksilla.



Teknologia mahdollistaa entistä tehokkaamman tehtävätaktiikan, mutta teknologisen potentiaalin hyödyntäminen vaatii toimintatapojen ennak-koluulotonta kehittämistä [SA-kuva]

3.6 Vaikutusperustaiset operaatiot ja informaatio sodankäynti

Vaikutusperustainen toimintatapa perustuu resurssien organisointiin verkostolähtöisesti sekä riittävän tarkkaan ja ajantasaiseen tilannekuvaan. Tämä **edellyttää kuitenkin johtamisprosessin ja johtamisjärjestelmän sovittamista tukemaan vaikutusperusteista suunnittelua ja johtamista**. Vaikutusperustaisessa toimintatavassa monipuolisia vaikuttamisresursseja käytetään siten, että niiden yhteiskäytöllä saavutetaan haluttu kokonaisvaikutus kohdejärjestelmissä. Tämä **laajentaa keskeisten vaikuttamismenetelmien joukkoa kattamaan fyysisen vaikuttamisen lisäksi**

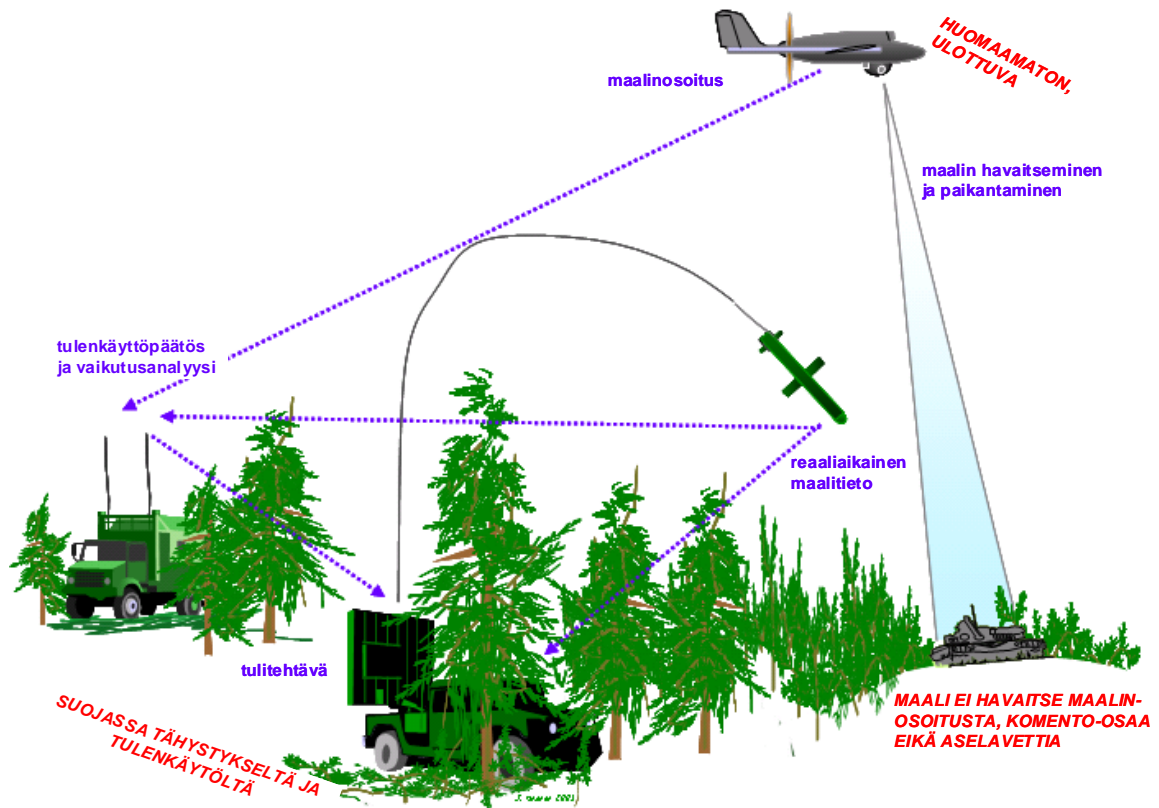
Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

myös vaikuttamisen sekä järjestelmiin (elektroninen sodankäynti ja tietoverkkosodankäynti) että ihmisten mieliin (harhauttaminen ja psykologinen sodankäynti). Fyysisen vaikuttamisen ja suojautumisen merkitys säilyy tulevaisuudessakin. **Elektronisen suojautumisen merkitys korostuu jonkin verran nykyisestä järjestelmien tullessa yhä liikkuvammiksi.**

Elektroninen sodankäyntikyky muodostaa jo nyt kriittisen edellytyksen taisteluiden voittamiselle. Järjestelmien hajautuminen ja verkottuminen nostavat tietoverkkosodankäynnin roolin keskeiseen asemaan.

3.7 Kauko- ja täsmävaikutus

Ohjusten propulsioon ja ohjautusteknologioiden kehittyminen on mahdollistanut erityisesti ilmasta laukaistavien aseiden tehokkaan kantaman kasvattamisen puolustajan torjunnan kantaman ulkopuolelta. Tällaisten kaukolaukaistavien (engl. stand-off) aseiden käyttö mahdollistaa vastustajaan vaikuttamisen pienin tappioriskein sekä voiman kohdentamisen nopeasti operaatioalueen koko laajuuteen ja syvyyteen.



Kaukovaikutus älykkäillä autonomisesti maaliinsa hakeutuvilla järjestelmillä tulee muuttamaan epä-suoran ja suoran tulenkäytön rooleja. Vastaavasti kyky suojautua älykkäiltä aseilta tulee muodostamaan keskeisen suojatekijän. [J. Kosola]

Informaatioteknologian kehittyminen sekä suorituskyvyn, koon ja painon että ennen kaikkea hinnan suhteen lisää merkittävästi kaukolaukaistavien aseiden käytettävyyttä ja kustannustehokkuutta mahdollistaen ohjattavien ja autonomisesti maaliin hakeutuvien älykkäiden aseiden laajamittaisen käyttöönoton.

Vaikka aseiden kantama on suurin ilmasta laukaistuna, ilmiö yleistyy myös maasta maahan laukaistavissa järjestelmissä. Epäsuoraa tulenkäyttöä on pidetty soveltuvimpana aluemaaleja ja suora-ammuntaa pistemaaleja vastaan. **Kaukovaikutus älykkäillä autonomisesti maaliinsa hakeutuvilla järjestelmillä tulee muuttamaan epäsuoran ja suoran tulenkäytön rooleja.** Esimerkiksi kuituohjukset, joilla voidaan tuhota pistemaaleja kymmenien kilometrien etäisyydeltä ilman näköyhteyttä ampuvan lavetin ja maalin välillä, korvaavat perinteisesti näköyhteysreitille rajautuneet panssaritorjuntaohjusjärjestelmät. Tällöin panssarivaunu, joka tulivaikutus perustuu suora-ammuntakanuunaan ja suoja etusektoriin maksimoituun ballistiseen suojaan, on auttamattomasti alakynnessä sitä huomattavasti halvempaan järjestelmään nähden. **Kaukovaikutus vähentää suora-ammuntaseiden sekä ampuvan lavetin torjuntaan pyrkivän kohdetorjunnan merkitystä.** Toisaalta se korostaa yhteiskäyttöisen sensori-, johtamis- ja vaikuttamisjärjestelmän (sensor-to-shooter) sekä omasuojajärjestelmien ja herätteen sekä herätetaustan hallinnan tärkeyttä.

3.8 Asymmetriset keinot ja niiden vastakeinot

USAn ja NATOn kielenkäytössä asymmetrisillä keinoilla tarkoitetaan lähes poikkeuksetta terroristien käyttämiä ”epäreiluja” menetelmiä. On kuitenkin huomattava, että asymmetrisia keinoja voidaan käyttää myös konventionaalisessa sodassa kahden erityyppisen tai voimasuhteeltaan erilaisen toimijan välillä.



Sotaa matala-asteisempien kriisien myötä asymmetriset keinot tulevat yleistymään. Niillä on kuitenkin suuri potentiaali myös perinteisessä sodankäynnissä. [J. Kosola]

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

Asymmetristen keinojen käyttämistä konventionaalisessa sodassa voivat olla esimerkiksi:

- Kiistetään vastustajan asevaikutuskyky harhauttamalla vastapuoli iskemään siviilikoh- teeseen, jonka jälkeen vastustaja ei kykene hyödyntämään kauaskantoisia tai täsmä- vaikuttavia asejärjestelmiään.
- Kiistetään ISTAR-järjestelmän kyky sulautumalla herätetaustaan, esimerkiksi urbaani- ympäristöön tai luomalla harhauttavain toiminnoin ja laittein riittävän häiriöllinen herätetausta, josta todelliset kohteet ja toiminta ei erotu.
- Kiistetään parempi tulivoima parveilutaktiikalla, jolloin vastustajalle ei tarjoudu riittävän kustannustehokkaita maaleja kuin korkeintaan hyvin lyhyeksi ajaksi.

On huomattava, että asymmetrinen keino tai sen vastakeino kuuluu useimmiten täysin erilaiseen kategoriaan kuin sen kohde. Yleisimmin asymmetrinen keino on löydettävissä informaatio- sodan- käynnin eri osatekijöistä, mutta usein kyse on myös perinteisestä teoreemasta, jonka mukaan omat vahvuudet on kohdistettava vastustajan heikkouksia, ei vahvuuksia, vastaan. Teknologisen kehityksen näkökulmasta tulkittuna johtopäätös on selvä: keino-vastakeino-kamppailua on aina tarkasteltava laajana kokonaisuutena, ei pelkästään teknologisesta näkökulmasta.

3.9 Miehitettyjen ja miehittämättömien järjestelmäelementtien yhteiskäyttö

Teknologinen kehitys ei mahdollista perinteisten miehitettyjen järjestelmien korvaamista robotti- järjestelmillä tarkastelujakson aikana. Robottien käyttö mahdollistaa nykyistä huomattavasti pienikokoisempien, kevyempien, pidempään toimintakykyisinä pysyvien sekä mekaanista rasitusta - kiihtyvyyttä mukaan lukien - ja ilmasto-olosuhteita paremmin sietävien järjestelmä- elementtien kehittämisen. Siten paine miehittämättömien elementtien kehittämiseen on olemassa ja kyse on vain siitä missä aikataulussa ja missä määrin teknologinen kehitys sen mahdollistaa.



Miehittämättömät järjestelmät yleistyvät, halpenevat ja pienenevät. Autonomisuus ja keskinäinen verkottuminen voivat tehostaa merkittävästi niiden merkitystä sodankäynnissä. [J. Kosola]

Lavettien, robotiikan, tiedonsiirtoteknologian ja järjestelmä-ihminen -rajapinnan kehittymisen myötä järjestelmät verkottuvat ja osa tällä hetkellä lavetteihin integroiduista ominaisuuksista siirtyy verkostopohjaiseksi palveluksi, jonka tuottavat robottielementit. Tästä esimerkkinä voidaan mainita sensorin siirtäminen pois aselavetilta ja joissakin tapauksissa jopa ase- siir-

täminen pois päätöksenteon suorittavasta miehitetystä lavetista. Kehityksen suuntana on siten järjestelmä, johon kuuluu sekä miehitettyjä lavetteja että robottilavetteja. **On kuitenkin varottava perustamasta puolustusratkaisua miehittämättömiin lavetteihin ennen kuin niiden teknologia on riittävän kypsää ja kustannushyötysuhde riittävä.** Miehittämättömien ja miehitettyjen lavettien yhteiskäytön mahdollistavia tekniikoita ovat:

- verkostopohjainen järjestelmäarkkitehtuuri
- robusti tiedonsiirtoalusta
- kognitiivinen järjestelmärajapinta
- robotiikka
- sähkövoiman tuotanto ja varastointi

3.10 Elinjakson hallinta

Suorituskyvyn elinjakson hallinnassa on kyse nopean teknologisen kehityksen hallitsemisesta sekä kyvystä integroida ja ylläpitää maanpuolustuksen kannalta keskeisiä järjestelmiä. Rajallisista resursseista on saatava mahdollisimman paljon irti, joten:

- on osattava hankkia oikeanlaista suorituskykyä – joten on tunnettava toimintaympäristö – siten on kiinnitettävä riittävä huomio teknologiseen ja sotataloudelliseen tiedusteluun
- on osattava hankkia oikeanlaisia järjestelmiä, jotka vastaavat suorituskykytarpeeseen: erilaisia konsepteja on kyettävä analysoimaan, arvioimaan ja vertaamaan. Simulaatiopohjainen hankintamenetelmä on yksi ratkaisu tähän.
- järjestelmien hankinnassa on siirryttävä lukumäärätavoittelusta ja lavetipohjaisesta ajattelutavasta suorituskykylähtöiseen ajatusmalliin: on tarkasteltava koko elinjakson kustannuksia ja kaikkia suorituskyvyn osatekijöitä, puolustusmateriaalin lisäksi erityisesti tukeutumisjärjestelmää ja henkilöstöä.
- On kehitettävä ja hallittava järjestelmäkokonaisuuksia, jolloin keskeiseksi tulee hallita vaatimuksia, palvelukonsepteja, järjestelmäarkkitehtuuria, järjestelmän konfiguraatiota ja elinjaksokustannuksia. Korkeateknologisen järjestelmän elinjaksokustannuksista suurin osa syntyy järjestelmän käyttövaiheessa. Koska tähän vaiheeseen kuitenkin yleensä varataan riittämättömästi resursseja, hankitun puolustusmateriaalin käytettävyys heikkenee varsin nopeasti. Siten alun perin suurella investoinnilla hankittu sodan ajan suorituskyky valuu hukkaan.
- On siirryttävä pois lavetti- ja aselajilähtöisestä kehittämisestä sekä yhteisten palveluiden ja järjestelmäelementtien osalta myös puolustushaaraakohtaisesta kehittämisestä. Tämä edellyttää yhteisen materiaalilaitoksen perustamista sekä puolustushaaraesikuntien ja materiaalilaitoksen välisen työnjaon määrittämistä uudelleen.
- Järjestelmien on oltava ”tulevaisuusvarmoja” eli sovellettavissa erilaisiin tehtäviin ja toimintaympäristöihin. Tekniikalta tämä edellyttää vastaavasti modulaarisia ja ohjelmistopohjaisia ratkaisuja. Järjestelmäelementtien on oltava kokonaiskonseptiin sopivia ja mahdollisimman monikäyttöisiä. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että:

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

- On kyettävä ennakoimaan ja hallitsemaan teknologian ja suorituskykytarpeen muutoksia. Näitä on siis tutkittava ja analysoitava määrätietoisesti ja koordinoitusti.
- On hallittava moduleista koostuvan järjestelmäkoonpanon konfiguraatiota ja tähän liittyviä rajapintoja sekä kokonaisuuden tuottamia palveluita. Yksittäisten laitteiden tekniikan hallitseminen on toissijaista. Konfiguraation ja rajapintojen hallinta on siis ydinosaamista.
- On kyettävä ylläpitämään ohjelmistoja ja niiden kansallinen huoltovarmuus on luotava ja ylläpidettävä. Ylläpidossa on siis kehitettävä myös ”ohjelmistovarikkoja”.
- Pienenevien kappalemäärien vastapainoksi on nostettava kunnossapitojärjestelmän kykyä palauttaa taistelussa vaurioituneet tai muutoin vikaantuneet järjestelmät takaisin operatiiviseen käyttöön.
- Järjestelmät on hankittava nykyistä tehokkaammin. Järjestelmäkokonaisuuksien luominen, yhteiskäyttöisyys ja yhteensopivuus sekä hankinnan tehokkuus edellyttävät puolustusvoimien laajuisen systemaattisen suorituskyvyn luomisen menettelytavan käyttöönottamista.
- Hankittujen järjestelmien koulutuksen tulee perustua sodan ajan olosuhteisiin, mikä edellyttää koulutusjärjestelmään kuuluvien simulaattoreiden ja emulaattoreiden hankintaa puolustusmateriaalin hankinnan yhteydessä.



Simulaattoreilla kyetään luomaan sodan ajan olosuhteita jäljittelevä koulutustilanne. [SA-kuva]

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

4. HEIKKENEVÄT TEKIJÄT

4.1 Raskaat järjestelmät

Käsite raskas järjestelmä on varsin epämääräinen. Tässä sillä tarkoitetaan kollektiivisesti sekä raskasta ballistista suojaa että raskasta kranaattia. Valvonta- ja maalinosoitusjärjestelmien, johtamisjärjestelmän sekä kaukovaikutteisten asejärjestelmien kehittyminen vähentää taistelupanssarivaunun merkitystä 10 vuoden aikajänteellä ja johtaa todennäköisesti nykyisen kaltaisen taistelupanssarivaunun poistumiseen taistelukentältä käytössä olevan kaluston elinjakson päättyessä.

Nykyisen panssarivaunun ongelmana on sensoreiden integrointi lavettiin ja vaikuttamisen sekä suojan perustuminen lavettiin integroituihin suora-ammunta-aseisiin ja ballistiseen suojaan. Koska sensori, johtamisjärjestelmä ja ase sijaitsevat samalla lavetilla, vaunun on hakeuduttava näköyhteydelle vastustajaan ja siten myös alttiiksi vastustajan tulenkäytölle. Jos vastassa on vastustaja, jonka maalinosoitus ei ole sidottu ampuvaan lavettiin ja jonka asejärjestelmä kykenee ampumaan katveeseen tai katveesta, vastustaja pystyy hyökkäämään perinteistä panssarivaunua vastaan jo ennen kuin se edes havaitsee tulleeensa havaituksi.



Taistelupanssarivaunun konsepti perustuu ajatukseen integroida 1700-luvulla kehitetty tykki ja 1900-luvun alussa kehitetty moottoroitu vetäjä itse liikkuvaksi tykkilavetiksi sekä suojata ne ennen kaikkea etusektorista tulevia uhkia vastaan. Teknologisen kehityksen myötä tämä konsepti alkaa olla vanhentunut. [J. Kosola]

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

Edellä kuvattu ilmiö ei kuitenkaan tee panssaroiduista maa-ajoneuvoista tarpeettomia. Operatiivisesti hidas taisteluvaunu ei kuitenkaan muodosta ratkaisua aina läsnä olevan suojan ja tulivoiman tarpeeseen, koska sen tulivoima perustuu hidastulinopeuksiseen suora-ammuntakanuunaan ja suoja perustuu etusektoriin optimoituun raskaaseen ballistiseen suojaukseen. Suora-ammunta-asetta tarvitaan toki myös jatkossa taisteluvaunuja halvempia maaleja vastaan sekä omasuojaksi. Teknologia ei kuitenkaan mahdollista ballistista suojausta joka suunnasta, mitä älykkään aseet ja nykyinen taistelun kuva näyttäisivät vaativan. Lisäksi raskaan taistelupanssarivaunun operatiivinen ja strateginen liikkuvuus – siis kyky siirtyä itse pitkiä matkoja ja kyky siirtää kalustoa esimerkiksi ilmakuljetteisesti, ei ole kovin kummoinen.

Edellä kuvattu johtanee taistelupanssarivaunujen ja rynnäkkövaunujen yhdistymiseen yhdeksi ajoneuvoperheeksi ja toisaalta niiden nykyisten rakenneosien hajoamiseen tuon perheen moduuleiksi. Ilmiö pätee myös Suomen puolustusvoimiin, vaikkakin perinteisemmän uhkakuvan vuoksi olennaisesti hitaammin kuin NATO-maiden asevoimiin.

Raskaan tykistön ja raketinheittimistön merkitystä vähentää yleisesti joukkojen vähenemisen myötä kasvanut strategisen ja operatiivisen liikkuvuuden tarve sekä ilmasta kohdistuvan asevaikutuksen merkityksen kasvaminen. Vähemmälle huomiolle on jäänyt se tosiseikka, että kriisin luonteen vuoksi massamaista tulivaikutusta ei välttämättä pystytä hyödyntämään pitkän tulenkäyttöviipeen tai suurten oheisvaurioiden vuoksi. Suomessa tämän ilmiön merkitys on kuitenkin todennäköisesti varsin pieni seuraavien 20 vuoden aikajänteellä.

Edellä kuvattu ilmiö pätee myös ilma- ja merivoimien järjestelmiin. Kehittymätön informaatio-tekniikka pakotti keskittämään samaan lavettiin puhe-etäisyydelle tai johdinyhteyden päähän sensorit, johtamisjärjestelmän ja aseet sekä muut vaikuttamisvälineet. Rannikkosodankäynnissä meritorjuntaohjusten 200 - 1000 km kantama kyetään parhaiten hyödyntämään sijoittamalla ohjukset maalle ja sensorit pieniin ja vaikeasti havaittaviin miehittämättömiin ilma- tai pinta-aluksiin. Myös maalin tunnistaminen voidaan hoitaa miehittämättömällä järjestelmällä.

4.2 Suluttaminen ja linnoittaminen

Perinteisen suluttamisen merkitys tulee vähenemään yhteiskunnan, sodan ja taistelun kuvan muutoksen myötä. Se on yhä vähenemässä määrin kustannuksiin nähden tehokas tai edes mahdollinen ratkaisu vastustajan toiminnan estämiseen. Ilmatilan ja avaruuden käyttö tiedusteluun ja valvontaan, uudet tiedustelumenetelmät, kaukovaikutteiset täsmäasejärjestelmät, linnoitteiden rikkomiseen tarkoitetut paine- ja polttotaisteluaseet sekä joukkojen parempi operatiivinen ja taktinen liikkuvuus heikentävät olennaisesti paikkaan sidotun ja pitkiä ennakoivalteluja vaativan puolustuksen merkitystä.



Miinoittamisella on tulevaisuudessakin tärkeä rooli vastustajan liikkeen hidastamisessa ja kanalisoinnissa. Miina on erittäin kustannustehokas ja pitkäikäinen asymmetrisen sodankäynnin väline. Miinoitteiden ongelmana on niiden tuoman suojan näennäisyys ja joukon toiminnan jähmettyminen.

[SA-kuva]

Puolustusaseman vahvaan linnoittamiseen ja torjuu/pitää-tehtävarakenteeseen perustuva operaatiotaito ja taktiikka eivät kykene vastaamaan tulevaan kehitykseen. Sen sijaan pikalinnoitusjärjestelmien ja uusien liikettä tilapäisesti hidastavien nopeiden sulutusmenetelmien merkitys korostuu.



Erityisesti täsmä- ja aerosoliaseiden kehitys vähentää linnoittamisen merkitystä ja tekee jäykästä puoluksesta riskialttiin taistelulajin. Kuvassa venäläinen jo 1980-luvulla kehitetty TOS-1 raketinheitin, jonka valikoimiin kuuluu termobarinen ampumatarvike. [J. Kosola]

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

5. KRIITTISET JÄRJESTELMÄT JA SUORITUSKYVYT

Seuraavassa käsitellään niitä järjestelmiä sekä eri järjestelmiin liittyviä suorituskykyjä, joilla arvioidaan olevan kriittinen merkitys puolustusjärjestelmän kokonaissuorituskykyyn. Monia kokonaisuuden kannalta tärkeitä osajärjestelmiä jää luonnollisesti tarkastelun ulkopuolelle. Seuraavat kahdeksan suurehkoa kokonaisuutta muodostavat kuitenkin varsin luotettavan pohjan tulevaisuuden kriittisimmiksi osatekijöiksi.

5.1 Sensorijärjestelmä

Sensorijärjestelmä luo edellytykset tunnistetun tilanne- ja maalittamiskuvan muodostamiselle ja edelleen päätöksenteolle. Sensorijärjestelmä on laaja verkotettu kokonaisuus erilaisia sensoreita, tiedonsiirtoyhteyksiä ja tiedonkäsittelyjärjestelmiä. Sähkömagneettisen spektrin alueella toimivat sensorit, eli radio- ja tutkataajuiset sekä lämpö- ja näkyvän valon alueella toimivat sensorit muodostavat tärkeimmät elementit. Lisäksi magneettiset sensorit ovat tärkeitä erityisesti merisodankäynnissä. Yksittäisten sensoreiden suorituskyky tulee luonnollisesti parantumaan teknisen kehityksen seurauksena. Olennaista on kuitenkin:

- sensoreiden verkottaminen ja tämän verkotetun kokonaisuuden mahdollistama merkittävä suorituskykyparannus
- sensoreissa käytettävän sensori-, tiedonkäsittely-, tiedonsiirto-, energian tuotanto- ja varastointi- sekä propulsioteknologioiden kehittymisen mahdollistama miniatyyristen autonomisten sensoreiden kehittäminen



Sensoriteknologian pieneneminen ja älykkyyden sekä autonomisuuden kasvu mahdollistavat kokonaan uudentyyppisiä mahdollisuuksia tilannetietoisuuden muodostamiseen.

[E. Salminen]

Edellä oleva suorituskyky perustuu moniin teknologioihin ja tukeviin järjestelmiin, kuten:

- Sensoriteknologia, joilla maalit havaitaan ja niitä seurataan vastustajan suorittamasta häirinnästä ja harhauttamisesta huolimatta.
- Sensoritiedon käsittely, jolla maalit tunnistetaan.
- Päätöksentekojärjestelmä, joka mahdollistaa vaikutusperustaisen sensoreiden ja vaikuttamisjärjestelmien käytön suunnittelun ja johtamisen.
- Tiedonsiirtoalusta, jolla järjestelmäelementit liitetään toisiinsa.
- Omien joukkojen seuranta (BFT, blue force tracking), jolla nopeutetaan liikettä ja tulenavausta sekä vähennetään oheistappioita.
- Muiden tietolähteiden tuottaman informaation fuusiointi, jolla täydennetään tilannekuvaa.
- Paikkatieto ja aikareferenssi, joilla luodaan kyky toimia hajautetusti ja nopeatempoisesti.
- Tiedon louhinta ja hahmontunnistus¹.
- Toimintaympäristön laajeneminen sekä ulkopuolisten tietolähteiden fuusiointi edellyttävät kielenkääntämistekniikoiden kehittymistä. Nämä kuitenkin kehittyvät osana siviiliteknologian kehittymistä.

Mikrosähkömekaanisten laitteiden sekä passiivisten sensoreiden käyttö mahdollistaa halvan millimetriaaltoteknologian käyttöönoton alle 95 GHz taajuuksilla ja infrapuna-alueella yli 12 mikron aallonpituuksilla. Monisensoriteknologia (esim. lämpökamera ja millimetriaaltotutka yhdessä) sekä aktiivisen ja passiivisen sensorin (esimerkiksi lasertutkan ja valovahvistimen) yhdistäminen parantavat merkittävästi valvonta- ja maalinosoitussensoreiden sekä hakupäiden suorituskykyä. Passiiviset millimetriaaltokuvausmenetelmät sekä ultralaajakaistatutka mahdollistavat rajoitetun kuvaamisen esteiden ja maanpinnan lävitse, millä saattaa olla suuri merkitys kaupunkiympäristössä. Mikään näistä teknologioista ei kuitenkaan johda radikaaliin muutokseen, mutta ne pakottavat maastouttamis- ja omasuojajärjestelmät toimimaan nykyistä laajemmilla spektrin alueilla.

Sensori- ja tiedonsiirtotekniikoiden kehittymisen myötä aseiden ja ammusten sensoreiden tuottamaa tietoa tullaan käyttämään yhä kasvavassa määrin myös tiedusteluun ja maalitukseen. Esimerkiksi hävittäjien pulssidopplertutka kykenee SAR-moodissa tuottamaan nykyisten tiedustelukoneiden sensoreiden tuottaman tiedon tasoista kuvaa, ja meri- tai panssarintorjunta-ohjus kykenee tuottamaan tilannekuvaa maalialueelta ennen iskeytymistään kohteeseen. Samoin valokuituohjattu ohjus kykenee tulitehtävää suorittaessaan myös päivittämään maalitilanteen vaikutusalueella.

¹ Hahmolla tarkoitetaan tässä paitsi kuvaa, myös toiminnallisia kuvioita – esimerkiksi radioliikenteessä tapahtuvia muutoksia ennen hyökkäystä tai veriplasman saatavuudessa tapahtuvia muutoksia kansainvälisen kriisin eskaloitumisen mittarina.



Elektronikan suorituskyvyn kasvaminen ja komponenttien pienentyminen johtaa sensoreidenkin pienentymiseen, minkä myötä ainakin osin tullaan siirtymään suurista sensorijärjestelmistä monipuolisiin hajautettuihin ja pitkälti autonomisiin sensoriverkkoihin. [M. Saarela].

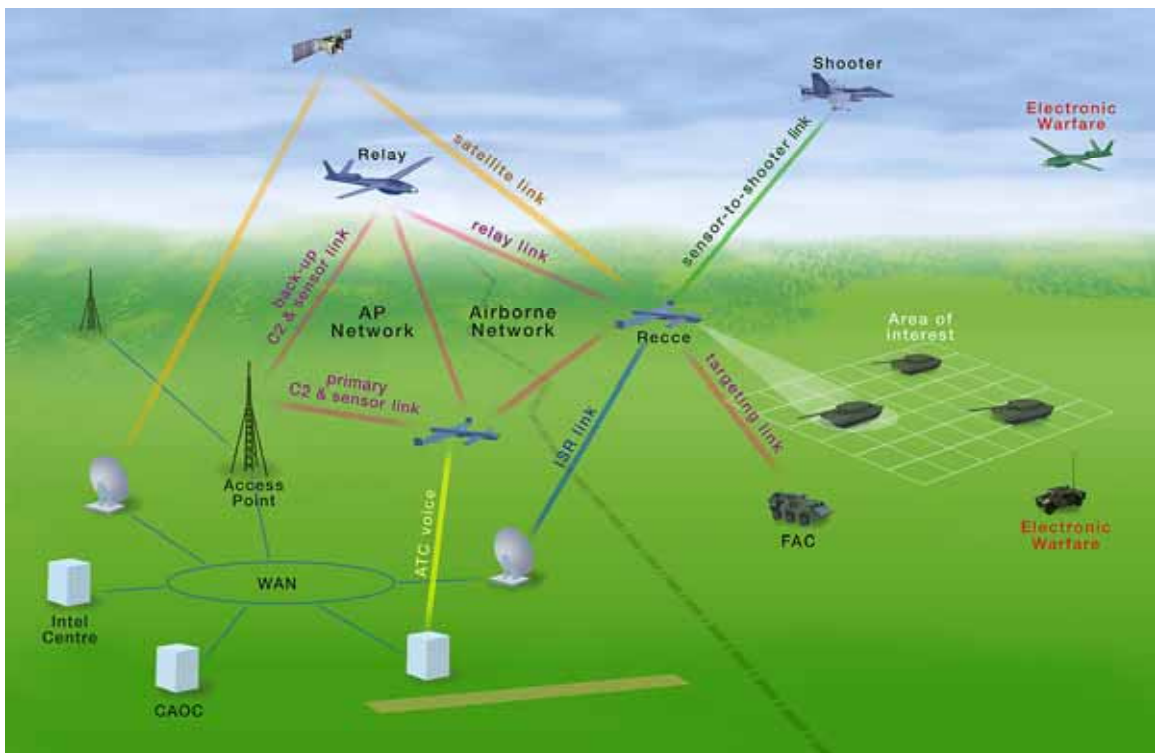
5.2 Robusti tiedonsiirtoalusta

Liikkuvan ja mahdollisesti verkostokeskeisen sodankäynnin perusedellytyksenä on robusti itsestään muodostuva ja itsensä automaattisesti korjaava tiedonsiirtoalusta, joka tarjoaa yhteyspalvelut taistelutekniseltä tasolta strategiselle tasolle. Robustisuudella tarkoitetaan järjestelmää, jonka suorituskyky ei missään vaiheessa romahda, vaan se laskee hallitusti oman toiminnan ja vihollisen vaikutuksen seurauksena. Tiedonsiirto tulee nähdä yhteiskäyttöisenä palveluna, ja sen vuoksi on luotava yhteiskäyttöinen tiedonsiirtoalusta.

Kiinteään verkkoon tukeutuvan järjestelmän kapasiteetti tulee kasvamaan satoihin terabitteihin sekunnissa. Kapasiteetin kannalta keskeisimmän rajoitteen aiheuttaa radiotaajuisen spektrin käyttö liikkuvien joukkojen johtamisessa vihollisen vaikutuspiirissä. Tämän vuoksi siviiliteknologian kaikkia sovelluksia ei ole mahdollista hyödyntää suoraan sotilaskäyttöön. Siviiliradiotekniikankin spektritehokkuus kehittyy kuitenkin koko ajan ja uusia toisilleen häiriöitä tuottamattomia aaltomuotoja kuitenkin otetaan koko ajan käyttöön. Tulevaisuuden aaltomuodot kykenevät myös sovittautumaan tilanteeseen, jolloin ne kykenevät huomioimaan sekä tiedonsiirtotarpeen että vihollisen uhkan ja säätämään siirtokapasiteettia ja häive- sekä häirinnänväistöominaisuuksiaan kulloisenkin tarpeen mukaan.

Seuraavat tekniikat ovat erityisen tärkeitä tiedonsiirtoalustan muodostamiselle:

- digitaalinen signaalinkäsittely: vaikeasti tiedusteltavat aaltomuodot (LPD, LPE ja LPI-tekniikat, digitaalinen signaalinkäsittely), vaikeasti häiritsevät aaltomuodot (erilaiset häirinnänväistöominaisuudet ml. hajaspektritekniikat, ultralaajakaistatekniikka sekä lyhyen kantaman järjestelmissä impulssitekniikka) sekä adaptiiviset ja spektritehokkaat aaltomuodot
- spatiaalis-temporaalis-spektraalisketterät toteutukset (elektronisesti keilaavat antennit ja antenniryhmät (ml. yhteiskeilanmuodostus, collaborative beamforming), konformaalisten antennien teknologiat) yhdistettynä hajaspektrilähetteisiin
- ohjelmistopohjaiset toteutuskonseptit – esim. ohjelmistoradio
- aika-avaruusprosessointi (space-time-coding), MIMO-tekniikat
- ad hoc -verkkoteknologiat (erityisesti älykäs tilannetietoinen ja sisällön hahmottava reititys, tasa-arvoisten elementtien yhteistyöhön perustuva järjestelmänhallinta)
- Suurikapasiteettinen luotettava runkojärjestelmä – kuituverkko, laserlinkit ja/tai ilmatilan ja avaruuden hyödyntämismahdollisuus transmissiojärjestelmässä
- tiedon luottamuksellisuuden ja eheyden varmistamiseen tarvittavat tekniikat, kuten salaus ja autentikointi



Robusti tiedonsiirtoalusta mahdollistaa järjestelmien keskinäisen verkottumisen. Sen toimivuuden varmistaminen on kriittinen kokon puolustusjärjestelmän kannalta. [Patria & Insta]

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

Tällä hetkellä järjestelmäelementtien liittäminen toisiinsa perustuu Internet-verkkoteknologiaan ja se näyttää erittäin todennäköisesti olevan myös tulevaisuuden ratkaisu. On kuitenkin huomattava, että vain kymmenisen vuotta sitten verkkoteknologioiden arvioitiin perustuvan tulevaisuudessa asynkroniseen siirtomuotoon (ATM). Näin ei asiantuntijoiden lähes yksimielisistä näkemyksistä huolimatta käynyt, vaan markkinavoimien vuoksi teknisesti huonompi internet-teknologia syrjäytti sinänsä paremman ATM:n. Internet-teknologian dominointia myös tulevaisuudessa 10-15 vuoden aikajänteellä tukee tosin se, että sen markkinapenetratio on jo tapahtunut.

Edellä ei käsitelty sotilaallisissa runkoverkoissa käytettäviä valokuituun perustuvia tiedonsiirto-teknologioita, koska niiden kehitys tapahtuu siviilimarkkinoiden ohjaamana ilman sotilaallista panostusta tai painotusta. Valokuiturunkoverkko muodostaa perustan verkostopuolustukselle. Se ei kuitenkaan ole ratkaisu operatiivisiin eikä taktisiin järjestelmiin, joiden tulee perustua radio- ja satelliittiyhteyksiin.

Tärkeitä ovat myös tukevat toimenpiteet ja tukijärjestelmät, kuten tiedonsiirtoalustaan kohdistuvien hyökkäysten ennakoiva estäminen (ml. salaaminen ja harhauttaminen), havaitseminen, rajoittaminen ja torjunta ml. aktiiviset vastatoimet (elektroninen ja fyysinen vaikuttaminen sekä tietojärjestelmähyökkäykset) sekä hallittu nopea toipuminen (järjestelmän, palveluiden ja elementtien automaattinen uudelleenkonfiguroituminen).

5.3 Tekoälyyn tukeutuva päätöksentekojärjestelmä

Tulevaisuuden johtamisjärjestelmän on kyettävä paitsi tilannekuvassa tarvittavien tietojen automaattiseen korrelointiin ja fuusiointiin, myös tukemaan päätöksentekoa ja suunnittelua tunnistamalla erilaisiin tilanteisiin liittyviä kuvioita ja trendejä sekä esittämällä arvioita tilanteesta ja sen kehittymisestä. Kymmenen vuoden aikajänteellä korostuvat:

- Päätöksentekoa tukevat toiminnot, kuten vaihtoehtoisten skenaarioiden automaattinen pelaaminen, joka nopeuttaa operatiivista päätöksentekoa manuaalisten sotapelien jäädessä pois.
- Ihminen-järjestelmä -rajapinnan mallintaminen ja toteuttaminen ihmistä tukevasti. Tähän liittyy tiedon mallintaminen, esittäminen ja syöttäminen järjestelmiin siten, että järjestelmä kykenee toimimaan ihmiselle luontaisten syötteiden, kuten puheen ja kuvien, perusteella ja kykenee tuottamaan sellaisia tietoja, joita ihmisen ei tarvitse erikseen tulkita, yhdistellä tai analysoida: tieto esitetään tilanteen, tehtävän ja jopa ihmisen stressitason edellyttämällä tarkkuudella ja tavalla.
- Hahmontunnistus sisältäen kuvan ja puheentunnistamisen lisäksi erilaisten kriisin kehitykseen sekä operaatioajatuksiin ja tilanteisiin liittyvien ilmiöiden ja trendien tunnistamisen sekä tähän liittyvän tietofusion.
- Kognitiiviset tietojärjestelmät sekä asian- ja tiedonhallintaa tukevat työkalut.

Pidemmällä aikajänteellä edellisten pohjalta merkittäviksi nousevat:

- Hajautettu koneäly, jossa ihmisen roolina on määrittellä, mitä mahdollisesti satoja elementtejä sisältävän konejoukon tulee tehdä tarvitsematta miettiä mikä minkin elementin tehtävä on.
- Odottamattomiin tilanteisiin ja muuttuvaan toimintaympäristöön vastaava älykkyys sekä kyky arvioida asioiden kehittymistä lähitulevaisuudessa.
- Virtuaaliset tietojärjestelmäassistentit, jotka tarkkailevat omistajansa käyttäytymistä ja toimintatapoja ja oppivat niiden perusteella mitä tietoa omistaja kaipaa ja miten tämä haluaa sen esitettävän sekä pitävät näiden perusteella koko ajan yllä tarvittavaa tietämystä. Tämä nopeuttaa tilannekuvan muodostamista, johtajan orientaatiota sekä päätöksentekoa ja käskyjen toimeenpanemista olennaisesti nykyisestä, sillä järjestelmä tietää miten omistaja ajattelee ja ennakoii todennäköisimmät vaihtoehdot.
- Reaaliaikaiset adaptiiviset käyttöliittymät sekä intuitiiviset monen käyttäjän käyttöliittymät.
- Robusti reaaliaikainen puheen tunnistaminen ja ymmärtäminen sekä tekstin automaattinen tuottaminen, ymmärtäminen ja monikielinen kääntäminen
- Rajapinta- ja vuorovaikutustyökalut käyttöliittymien, ihminen-tietokone -dialogien, integraalisen ihmis-tietokoneohjauksen, järjestelmäkokoontamisen ja integroinnin sekä virtuaalitodellisuuden suunnitteluun ja kehittämiseen.

Edellä kuvattu luettelo ei ole kattava eikä tulevaisuus välttämättä kaikilta osiltaan edes rakennu jokaisen edellä kuvatun tekijän varaan. Olennaista on kuitenkin huomata, että tähän asti johtamisjärjestelmiä on kehitetty pelkästään teknologisenä mahdollisuutena toteuttaa olemassa olevia prosesseja elektronisesti, eikä teknologian mahdollisuuksia ole juurikaan osattu hyödyntää. Tietojärjestelmiä on käytetty lähinnä elektronisena viestilomakkeena, sähköisenä karttakelmuna ja oikolukukykyisenä kirjoituskoneena ymmärtämättä informaatioteknologian todellista potentiaalia. Tilanne kuvaa hyvin jäykästi organisoitujen asevoimien heikkoa kykyä ottaa käyttöön ja soveltaa uutta teknologiaa: ei ole ymmärretty yhtenäisen tavoitetilan, siihen sitoutumisen ja määrätietoisuuden sekä koordinoitun teknisen kehittämisen sekä dynaamisen toiminnan tärkeyttä. Resursseja on käytetty tipoitain ja osin päällekkäin eri suuntiin epämääräisesti hapuileviin yrityksiin. Muutos edellyttää sitä, että asevoimat ymmärtävät toisaalta teknologian olevan keskeinen sotatyökalu ja toisaalta teknologian päälle rakennettavien sovellusten olevan hyödyllisiä vain jos ne palvelevat ihmisiä eikä päinvastoin. Haaste ei siten ole tekniikassa, vaan asenteissa ja osaamisessa.

5.4 Integroitu täsmävaikutukseen kykenevä vaikuttamisjärjestelmä

Teknologinen kehitys hämärtää rajaa suoran ja epäsuoran tulon välillä sekä murtaa perinteisen jaon taistelevien ja taistelua tukevien sekä selustajoukkojen välillä. Tämä tulee huomioida myös tuki- ja huoltojoukkojen varustamisessa ja käytössä.

Vaikuttamiselementin ja sen kohteelle toimittamiseen käytävän järjestelmän sidos heikkenee erilaisten kantoammusten ja kasettipommien yms. myötä. Tämä tulee osaltaan vaikuttamaan puolustushaarojen ja ennen kaikkea aselajien väliseen roolijakoon. Erilaisia vaikuttamiselementtejä

(sirpale-, ontelo-, EFP-, häirintä-, sensori- tms. kuormia) sekä erilaisia hyötykuormia kantavien järjestelmien (tykki, kranaatinheitin, raketinheitin, sirotekasetti jne.) hyödyntäminen edellyttää moduulipohjaisia ratkaisuja sekä vaikuttamisjärjestelmän koordinoitua kehittämistä. Vallitsevan näkemyksen mukaan informaatioteknologian hyödyntäminen maalinosoituksessa ja maaliin-hakeutumisessa sekä järjestelmäintegraatio sensorilta aselavetille (sensor-to-shooter-kokonaisuus) tarjoaa parhaan hyötysuhteen asejärjestelmäinvestoinneille.

Moduulipohjaisuus ja verkottumissuuntaus vaikuttavat myös miinajärjestelmiin sekä muihin joukon suojausjärjestelmiin. Tulevaisuuden miinoite voi muodostua itsenäisesti toimivista elementeistä, jotka kykenevät siirtymällä paikkaamaan raivaamisen synnyttämän aukon tai jotka kykenevät päättämään keskenään kuka minkäkin maalin kimppuun hyökkää. Tällainen dynaaminen este muistuttaa vain vähän nykyistä sulutetta. Raivauksen välttämiseksi sitä ei myöskään välttämättä sijoiteta suljettavalle uralle, vaan sen viereen. Miinoite myös mahdollistaa omien joukkojen liikkumisen, koska se tunnistaa kohteensa ja se voidaan lisäksi aktivoida ja deaktivoida langattomasti.

Sensoreiden havaitsemiskyvyllä ja aseiden kantamalla on tapana kasvaa pidemmäksi kuin sensoreiden tunnistuskyvyllä. Tämä on jo johtanut siihen, että kyky tunnistaa maali omaksi, vastustajaksi tai neutraaliksi muodostaa vaikuttamisjärjestelmän keskeisen pullonkaulan. Siten vaikuttamisjärjestelmän kehittämiseen liittyy olennaisesti myös oman tilannetietoisuuden kehittäminen. Tämä käsittää myös omien joukkojen seurannan ja omatunnistuksen.

Vaikuttamisjärjestelmän keskeiset haasteet ovat:

- nopeatahtisesti siirtyvien ja liikkuvien maalien havaitseminen ja paikantaminen vaikeata herätetaustaa vasten
- maalintunnistus tulevaisuudessa erillisellä verkotetulla sensorilla
- maalien seuranta ja asejärjestelmien maalinosoitus verkon lävitse
- täsmävaikuttaminen liikkuviin ja omasuojajärjestelmillä suojautuneisiin kohteisiin
- asevaikutuksen arviointi
- fyysisen ja elektronisen vaikuttamisen integrointi
- vaikutusperustaisen operaation suunnittelutyökalujen kehittäminen ja integrointi vaikuttamisen johtamisjärjestelmään
- vaikuttamisen johtamisjärjestelmä
- teknisen kehityksen huomioiminen prosesseissa ja esikunta- sekä joukkorakenteissa: tilannekuva – päätöksenteko – vaikuttaminen – vaikutuksen arviointi

Mikroelektroniikan, optroniikan ja radio- sekä tutkateknologian kehityksen myötä täsmäaseiden koko ja paino pienenevät ja kantama sekä älykkyys kasvavat samalla kuin hankinta- ja ylläpito-kustannukset laskevat. Kehitys on jatkuvaa ja on jo johtanut siihen, että **täsmäase on usein kustannustehokkain ratkaisu, mikäli tarkastellaan tietyllä elinjaksokustannuksella saavutettavaa operatiivista suorituskykyä.**

5.5 Sähkömagneettisen spektrin hallinta

Sähkömagneettisen spektrin käyttö ja toisaalta riippuvuus siitä lisääntyvät merkittävästi. Tämän vuoksi spektrin hallinta on välttämätön edellytys taistelun käymiseksi. **Spektrin hallintaan on luotava vastaavanlainen tilannekuva- ja johtamisjärjestelmä kuin muidenkin taistelun elementtien hallintaan.**

Sähkömagneettinen spektri muodostaa rajallisen luonnonvaran, joten spektri on koko ajan käymässä ruuhkaisemmaksi. Tämä korostaa spektriä tehokkaasti käyttävien aaltomuotojen ja järjestelmien kehittämisen tärkeyttä.

Spektrin hallintaan liittyy myös ymmärrys siitä spektritaustasta, jossa joukot toimivat ja jota vasten järjestelmää tiedustellaan ja valvotaan.

Seuraavat osaamisalueet ovat erityisen merkittäviä:

- digitaalinen signaalinkäsittely (spektriä tehokkaasti käyttävien aaltomuotojen kehittäminen)
- häivetekniikka ja herätetaustan ymmärtäminen (sulautuminen spektritaustaan)
- hman spektrin käytön ymmärtäminen (suojautuminen vastustajan tiedustelulta ja sen ohjaamalta asevaikutukselta)
- elektroninen tiedustelu ja valvonta (vastustajan tiedustelu ja vastustajaan vaikuttaminen spektrin kautta)
- reaaliaikainen ja (oman spektrin käytön ja elektronisen vaikuttamisen sekä kolmansien osapuolten suhteen) integroitu spektrinkäytön johtaminen

Spektrin hallintaan liittyvän elektronisen sodankäynnin rooli on ollut keskeinen kaikissa viime vuosikymmenen aikana käydyissä sodissa erityisesti vastustajan ilmapuolustuksen lamauttamisessa, jossa elektronisella häirinnällä lamautettiin tilapäisesti vastustajan ilmapuolustuksen sensorit ja johtamisyhteydet, minkä jälkeen ilmapuolustusjärjestelmä tuhottiin fyysisellä vaikuttamisella. On nähtävissä, että ase-vasta-ase-kamppailussa verkottuneella monisensoriteknologiaan perustuvalla valvontajärjestelmällä on ainakin pariteetti elektronisen häirinnän suojaamana hyökkääviin häivejärjestelmiin nähden. Tämän vuoksi hyökkääjä pyrkinee ensin pilkkomaan sensoriverkon erillisiin saarekkeisiin elektronisella vaikuttamisella, tietojärjestelmähyökkäyksellä ja fyysisellä asevaikutuksella ja sen jälkeen elektronisen häirinnän turvin tuhoamaan yksittäiset sensorit fyysisesti.

10-20-vuoden aikajänteellä elektroninen lamauttaminen mahdollistaa suojaamattomien sensoreiden ja tiedonsiirtolinkkien lamauttamisen jopa satojen kilometrien päästä. **Radiotaajuisten aseiden käyttöönoton myötä** mekaanisesti keilaavien tutkien sekä kiinteiden radiolinkkien suorituskyky tulee kyseenalaiseksi, minkä välttämiseksi on **siirryttävä käyttämään elektronisesti keilaavia tutkia sekä varauduttava korvaamaan osa välttämättömistä radiolinkkiyhteyksistä laserlinkeillä.**



Sähkömagneettisen spektrin hallinta on välttämätön edellytys modernissa liikkuvassa sodankäynnissä.
[EADS]

Koska taistelutempon nopeutuminen, järjestelmien ja toiminnan hajautuminen sekä verkostoituminen ovat yleisiä trendejä, myös vastustaja tulee entistä riippuvaisemmaksi sähkömagneettisesta spektristä. Tämä korostaa häirinnän merkitystä. On kuitenkin nähtävissä, että elektronisen suojautumisen teknologioiden kehitys heikentää perinteisten häirintäjärjestelmien suorituskykyä ja vaikeuttaa niiden käyttöä. Tämä korostaa lähihäirinnän ja elektronisen lamauttamisen merkitystä.

Siviiliteknologian ja jopa siviilijärjestelmien (esimerkiksi matkapuhelinverkkojen sekä satelliittipuhelinten) käyttö sodankäynnissä sekä kolmansien osapuolten ja siviiliyhteiskunnan infrastruktuurin huomioon ottaminen vaikeuttavat merkittävästi elektronisen häirinnän suorittamista muutoin kuin lähihäirintänä ja voi olla mahdollista, että häirintää ei voida kaikissa tilanteissa käyttää lainkaan. Tällöin häirintää on kyettävä tukemaan muiden informaatioidankäynnin keinojen avulla.

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

Suunnatun radiotaajuisten energian aseet voivat tuoda mukanaan vallankumouksellisen omasuoja-kyvyn ja suora-ammuntamahdollisuuden tulevina vuosina. Pääongelman muodostaa aseiden tarvittavan energian lyhytaikainen varastointi ja epävarma vaikutusmekanismi. RF-ase on luonteeltaan lyhyen kantaman järjestelmä, joten se soveltuu hyvin omasuoja- ja kohteensuojakäyttöön. Lisäksi sillä kyetään lamauttamaan tutka- ja radiolinkkijärjestelmiä erittäin kaukaa.

Seuraavat teknologiat ovat tärkeitä:

- mikrosähkömekaniikka
- radiotaajuiset aseet
- sähkön varastointi
- korkealämpösuprajohteet
- suuritehoiset nopeat puolijohdekytkimet
- vaiheistetut antennit
- suuritehoiset laajakaistaiset mikroaaltolähteet
- ad hoc -verkkoteknologiat
- yhteistyöpohjainen autonominen päätöksentekojärjestelmä
- tietojärjestelmäsodankäyntikyky

5.6 Kokonaissuoja

Venäläisen käsityksen mukaan tulevaisuudessa vastustajaan pyritään nykyisten keinojen lisäksi vaikuttamaan erityisesti kaukolaukaistavien täsmäaseiden, elektronisen vaikuttamisen sekä informaatioidankäynnin keinoin ensisijaisena tavoitteena valtion ja puolustusvoimien johtamisjärjestelmän lamauttaminen. Tähän vaadittavien teknologioiden ja järjestelmien kehittäminen on esimerkiksi Venäjällä priorisoitu korkealle.

Asejärjestelmien kasvava kantama yhdessä satelliitti- ja inertiaohjauksen kanssa mahdollistaa täsmäaseiden käytön stand off-etäisyyksiltä, eli puolustajan torjunnan ulottumattomissa. Maalinosoitus-, johtamis- ja asejärjestelmien kehitys puolestaan mahdollistaa pommi- ja rynnäkkökoneiden sekä risteilyohjusten maalien vaihtamisen kesken lennon ja vaikuttamisen jopa liikkuviin kohteisiin. SAR-tekniikan ja inertiatekniikoiden kehitys johtaa joka sään toimintakykyisten kaukovaikutteisten asejärjestelmien laajaan käyttöönottoon viimeistään tarkastelujakson jälkipuoliskolla. Tämän vuoksi **kyky suojautua täsmäaseilta jakaa valtiot kriisiaikana toimintakykyisiin ja toimintakyvyttömiin.**

Suojautumisen kannalta keskeiseksi nousee:

- Suojautuminen tiedustelu-, valvonta- ja maalinosoitusjärjestelmiltä:
 - **Herätteiden hallinta**, eli herätetaustan ymmärtäminen ja kohteen herätteiden sovitaminen siihen häiveteknisin keinoin ja maastouttamisen avulla. Tällä hetkellä osaamista on jonkin verran. Osaamista tulee kehittää, jotta ymmärretään miten järjes-

telmiä tulee kehittää ja osataan asettaa vaatimukset kustannustehokkuus ja suorituskyky optimoiden.

- Aktiivinen suojautuminen – ensisijaisesti ilmapuolustus. On huomattava, että stand-off-aseiden käyttö vähentää ilmatorjunnan kykyä vaikuttaa ampuvaan lavettiin.
- Harhauttaminen valemaalein ja toiminnallisoin keinoin. Täsmäaseiden heikkous on niiden korkeahko yksikköhinta, joten **harhauttamisella on saavutettavissa merkittävä kokonaissuorituskyvyn paraneminen erittäin kustannustehokkaasti.**



Herätteiden hallinta erityisesti kaikilla sähkömagneettisen spektrin alueilla on välttämättömyys sekä asejärjestelmiltä suojautumisen, että operatiivisen turvallisuuden varmistamisen ja harhauttamisen mahdollistamisen kannalta. [PVT]

- Suojautuminen osumalta ja osuman vaikutuksilta:
 - Kohteiden suojaaminen erilaisin obskurantein, joilla estetään maaliinsoitus sekä maaliinhakeutuminen. Niiden tehokas operatiivinen käyttö edellyttää kuitenkin riittävää tilannekuvaa ja johtamisjärjestelmää.
 - Omasuojajärjestelmät – sekä perinteiset että esimerkiksi tienvarsipommeilta suojaavat. Korkea hinta rajoittaa perinteisten omasuojajärjestelmien käytön myös tulevaisuudessa kaikkein arvokkaimpiin lavetteihin. Sen sijaan mikrosähkömekaniikan ja lasertekniikan kehityksen myötä optronisten sensoreiden (lämpökamerat, valonvahvistimet, matalavalotelevisiot ja infrapunahakupäät) sokaisuun tarkoitetut laserjärjestelmät halpenevat merkittävästi, mikä mahdollistaa joukon ja lavettien kustannustehokkaan suojaamisen. Lisäksi suurtehomikroaaltoaseiden teknologian halpeneminen mahdollistaa alusten sekä alueiden suojaamisen ohjuksen tai muun hakeutuvan ampumatarvikkeen elektroniikan lamauttamisella.
 - Suojatilojen suojaaminen fyysiseltä asevaikutukselta – mukaan lukien uutena merkittävänä uhkana termobariset aseet. Termobariset aseet, erityisesti aerosoliaseet muodostavat merkittävän uhkan, koska niissä vaikuttava aine tunkeutuu levityspanoksen aikaan saaman paineaallon mukana kaikista aukoista ja raoista suljettuihin tiloihin, jossa ilman ja räjähdysaineen seos (aerosoli) räjähtää. Rakenteisiin vaikuttaa ensisijaisesti paineaalto ja polttovaikutus, joka syntyy osin suojatilan ulkopuolella, mutta osin sen sisällä. Räjähdysprosessi kuluttaa kaiken hapen ja synnyttää voimakkaan alipaineen (tämän vuoksi aerosolipommista käytetään myös nimitystä tyhjöpommi). Alipaine on primäärinen ihmisiin vaikuttava tekijä: se tuhoaa keuhkorakkulat, jolloin suojatilassa oleva henkilöstö kuolee tukehtumalla omaan vereensä. Vaikutuksensa vuoksi aerosoliaseen käyttö on kielletty sellaisia kohteita vastaan, joissa on siviilejä. Aerosoliase on merkittävä uhka paikalleen linnoitautu-

neille joukoille, koska se on tehty nimenomaan lyömään metsään tai asutuskeskuksiin linnoittautunut puolustus.

- Suojautuminen muilta kuin perinteisiltä vaikutuskeinoilta
 - Kohteiden suojaaminen (N)CBR-vaikutusta vastaan.
 - Kohteiden suojaaminen elektronista lamauttamista (EMP ja HPM sekä vastaavat johdettavat lamautuspulssit) vastaan.



Herätteidenhallinnalla on keskeinen merkitys vastustajan stand off -aseteknologian kriittisen suorituskyvyn mitätöimisessä pakottamalla vastustaja oman torjunnan kantaman sisäpuolella. [Scantarp]

Häivetekniikalla ja muilla herätteidenhallintakeinoilla on keskeinen merkitys vastustajan stand off-aseteknologian kriittisen suorituskyvyn mitätöimisessä, eli pakottamisessa vastustaja laukaisemaan ne oman torjunnan kantaman sisäpuolella. Pelkkä häivetekniikka ei kuitenkaan riitä tulevaisuuden verkottunutta monisensorimaalitusta ja maalinosoitusta vastaan, joten kokonaisuosaan on kuuluttava myös harhautusvälineiden käyttö, millä pakotetaan vastustajan lähemmäksi sekä joukon suojaaminen elektronisen sodankäynnin keinoin, millä sekä suojataan edellä mainitut elementit että pakotetaan vastustaja vieläkin lähemmäs. Verkottuneella taistelukentällä asejärjestelmän suorituskyky riippuu verkon elementtien yhteisestä toimintakyvystä. Vastaavasti joukon ja järjestelmien suoja ei muodostu yhdestä tekijästä, vaan usean eri tekijän summana. Tämän vuoksi keskeiseksi menestystekijäksi muodostuu kokonaisuuden hallinta yli puolustushaara- ja aselajirajojen.

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

Älykkäiden asejärjestelmien hinta tulee rajoittamaan niiden lukumäärän varsin pieneksi. Toisaalta älykkäitä järjestelmiä tarvitaan vähemmän, koska pienikin määrä riittää kohteiden tuhoamiseen. **Siten vastustajan houkuttelemisen käyttämään asejärjestelmänsä väärin kohteisiin voi olla huomattavan tehokas keino suojautua tulevaisuuden harvalukuisilta aseilta. Tämän vuoksi erilaisiin harhamaalitekniikoihin ja -järjestelmiin tulee kiinnittää riittävästi huomiota. Omat järjestelmät ja lavetit tulee suunnitella siten, että niitä matkivia harhamaaleja on halpa tuottaa ja helppo käyttää.**

Komposiittimateriaalien sekä keraamisten materiaalien kehittyminen parantaa ballistista suojaa. Tarkastelujakson loppuvaiheessa uudet valmistustekniikat tekevät keraamisista ja materiaaleista nykyistä halvempia ja siten hankittavissa olevia taistelukentän järjestelmiin. Sähköisen panssarin arvioidaan tuovan erittäin tehokkaan suojan onteloammuksilta ja korvaavan räjähtävät aktiivipanssarilevyt pitkällä aikajänteellä. On kuitenkin mahdotonta ennustaa tapahtuuko tämä seuraavan 20 vuoden aikana.

5.7 Biopuolustus

2010–20-luvut tulevat näkemään bioteknologian kauan odotetun ja osin pelätynkin läpimurron siinä missä 1990–2000-lukuja leimasi informaatioteknologian räjähdysmäinen kehitys. Bioteknologian läpimurto perustuu paitsi biologian, myös informaatioteknologian ja nanoteknologian samanaikaiseen kehitykseen. Sotilaallisen käytön kannalta mahdollisuuksia syntyy robotiikan, häivetekniikan ja liikkuvuuden kehitykselle, mutta vastaavasti uhkia bioteknologisten hyökkäysten muodossa. Teknologia-alueen tutkimusta tulee seurata ja ohjata ottamaan huomioon myös sotilaallinen näkökulma osallistumalla tutkimushankkeisiin. Merkittävää rahoitusta ei tule kohdentaa ennen kuin teknologian arvioidaan olevan kypsä sovellusten kehittämistä varten.

5.8 Logistiikka- ja kunnossapitojärjestelmä

Logistiikka- ja kunnossapitojärjestelmä kasvattaa merkitystään. Erityyppisten operaatioiden ja erilaisten operaatioalueiden sekä pienentyvien kappalemäärien ja yhä kasvavassa määrin kumppanuuksiin tukeutuvien huoltojärjestelmien myötä materiaali- ja informaatiologiistiikka nousevat kriittiseksi osaamisalueeksi. Järjestelmien teknologinen kehitys pienentää esimerkiksi polttoaineiden ja ammusten kulutusta ja pakkausmateriaalien kehitys vähentää loismassaa. Logistiikassa on otettava käyttöön järjestelmäjähestymistapa, jolla varmistetaan oikeanlaisen ja oikein ohjelmoidun varusteen toimittaminen oikeaan aikaan oikeaan paikkaan. Lisäksi materiaalin kunnossapidon merkitys korostuu, koska järjestelmien vähyyden ja kriisin keston lyhyden vuoksi kyky palauttaa vaurioitunut puolustustarvike nopeasti takaisin operatiiviseen käyttöön nousee kriittiseksi suorituskyvyksi. Logistiikan tehokkuus ja rajallisin resurssein luotavissa olevan kunnossapitojärjestelmän toimintakyky riippuu hyvin paljon järjestelmäelementtien standardoinnista ja erilaisten elementtien vaihtokelpoisuudesta.

Logistiikankin alueella informaatioteknologia vaikuttaa kehitykseen eniten. Älykkäisiin etätunnisteisiin, yleiskäyttöiseen paikantamisjärjestelmään ja tiedonsiirtoalustaan tukeutuva logistinen informaatiojärjestelmä kykenee tuottamaan logistisen tuen oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan sekä minimoimaan viipeen ja materiaalin tarpeettoman kuljettamisen.



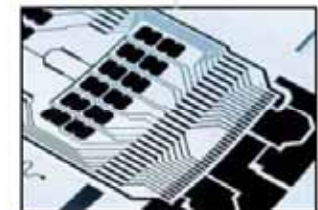
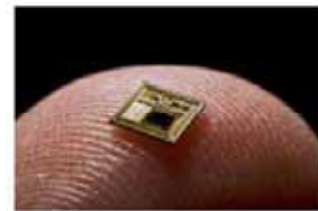
Logistiikan teknologialla voidaan minimoida materiaalivirtojen viipeitä ja maksimoida kriittisen materiaalin käytettävyyttä. [SA-kuva]

Keskeisiksi tekijöiksi nousevat:

- logistiikan hallinnan tietojärjestelmät
- kuljetustenseurantajärjestelmät
- paikantamisjärjestelmät
- terminaalijärjestelmät
- etälukutekniikat, kuten RFID
- älypakkaukset
- materiaalin vaihtokelpoisuus, erityisesti kaupallisen teknologian hyödyntäminen

Nopealla täsmälogistiikalla ja logistiikkajärjestelmän kyvyllä palauttaa vikaantunut järjestelmä taistelukuntoisena taisteluun voidaan merkittävästi kompensoida määrällistä alivoimaa.

Erilaisille materiaaleille painettavan elektroniikan kehittyminen mahdollistaa halpojen massatuotettavien älypakkausten laajamittaisen käyttöönoton. Tällä voi olla radikaali merkitys täsmälogistiikan suorituskykyyn. [Stora Enso]



Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

6. KESKEISET TEKNOLOGIAT

Luvussa kuvataan mitkä tutkimus- ja kehittämisalueet muodostavat keskeisen perustan aiemmissa luvuissa esitetyille suorituskyvyille ja järjestelmäkonsepteille. Esitetyt teknologia-alueet eroavat joiltakin osin puolustusvoimien kriittisten teknologioiden listasta, koska tämä tutkimus on tehty puhtaasti suorituskykylähtöisesti eikä tässä ole otettu huomioon materiaalipoliittisia linjauksia. Tässä ei siten oteta kantaa siihen pitäisikö teknologia hankkia kotimaasta vai ulkomailta.

6.1 Informaatioteknologia

Järjestelmät ja laitteistot kehittyvät ohjelmistopohjaisiksi, joten kyky **ohjelmistojen kehittämisen ohjaamiseen sekä ylläpitämiseen ja järjestelmien suojaaminen ohjelmistopohjaisilta hyökkäyksiltä on tärkeitä**. Järjestelmien kunnossapito ja elinjakson aikainen ylläpito sekä integrointi ovat yhä suuremmissa määrin ohjelmistojen hallintaa, ylläpitoa ja kehittämistä.

Johtamisjärjestelmissä tarvittavat tietojenkäsittelytekniikat, kuten kognitiivinen tiedonkäsittely, tiedon louhinta, hajautettu tekoäly, tietojärjestelmäagentit ja kognitiivinen reaaliaikainen spektrin hallinta ja sen integroiminen elektroniseen vaikuttamiseen ovat tärkeitä.

Liikkuvuutta tukevat teknologiat, kuten ad hoc-verkot, omien joukkojen seuranta (ns. blue force tracking), paikantaminen ja navigointi.

Ihminen-järjestelmä-rajapinta, jonka avulla kyetään ohjaamaan monimutkaisia ja ihmisen aikaperspektiivistä katsottuna nopeasti muuttuvia asioita sekä assimiloimaan järjestelmän tilaa ja järjestelmän tuottamaa tietoa nopeasti ja luotettavasti, muutoin raakadata hukuttaa johtajat informaatiotulvan alle.

Maaliinhakeutumistekniikat sekä niiden vastatekniikat, jotka ovat käytännössä yhdistelmä sensori-, tiedonkäsittely-, tiedonsiirto-, navigointi- ja paikantamisteknologioita sekä mikroelektroniikkaa ja materiaalitekniikkaa.

Radiotekniikka mukaan lukien mikro- ja millimetriaaltotekniikat (sisältäen myös elektronisen häirinnän ja harhauttamisen) sekä tutkatekniikka (erityisesti synteettisen aukon tekniikat ja passiiviset tutkatekniikat). Lisäksi tärkeitä ovat etälukutekniikat, ja niiden soveltaminen omatunnistus- ja logistiikkajärjestelmiin.

Digitaalinen signaalinkäsittely, jonka avulla voidaan luoda vaikeasti havaittavia ja häirinnältä tehokkaasti suojaavia signaalirakenteita. Erityisen lupaavilta vaikuttavat MIMO-prosessointi (multiple input - multiple output) ja aika-avaruuskoodaus (space – time – coding) sekä erilaiset ortogonaalikoodaustekniikat, jotka mahdollistavat nykyistä olennaisesti paremman suorituskyvyn. Merkittäväksi muodostuvat myös aktiivisiin ja passiivisiin sensoreihin soveltuvat maalin-tunnistusmenetelmät.

Antennitekniikka, erityisesti elektronisesti keilaavat antennit ja yhteiskeilanmuodostus (collaborative beamforming), jotka eivät heikennä järjestelmän häiveominaisuuksia ja joilla

voidaan tehokkaasti väistää elektronista häirintää. Näillä teknologioilla saavutetaan myös suojaa radiotaajuisia aseita vastaan.

Radiotaajuisien aseiden teknologiat: suuritehoiset laajakaistaiset mikroaaltolähteet, nopeat puolijohdekytkimet, nopeat pulssinmuokkauspiirit sekä laajakaistaiset antennit.

Optroniikka: optroniset sensorit, antisensoriteknologiat sekä omatunnistus. Lasertekniikan hyödyntäminen optronisten sensoreiden ja hakupäiden (sekä välillisesti ihmissilmän) sokaisuun tulee tarkastelujakson aikana olemaan teknologisesti ja kustannusten kannalta varteenotettava mahdollisuus sekä defensiiviseen että offensiiviseen omasuojaan. Tällä voi olla merkittävä vaikutus sensori- ja asejärjestelmien suorituskyvyille taistelukentällä. Lasertekniikan käyttö rakenteelliseen vaurioittamiseen (suurteholaserit) tulee olemaan teknologisesti mahdollista, mutta teknologian ominaisuuksien vuoksi se ei tule yleistymään taistelukentällä siinä määrin, että sillä olisi merkittävää vaikutusta puolustusjärjestelmään. Lasertekniikan sotilaallinen hyödyntäminen edellyttää paitsi lasertekniikan ennen kaikkea informaatiotekniikan (erityisesti maalin havaitseminen ja seuranta) kehittymistä.

Tietoturva- ja tietojärjestelmäsodankäynnin teknologiat: salaus ja salauksen murtaminen, autentikointi ja tunkeutuminen järjestelmiin sekä ohjelmisto- ja verkkohyökkäykset ja niiden tunnistaminen, rajoittaminen, jäljittäminen ja toipuminen.

Mallinnus, simulointi, emulointi ja synteettiset ympäristöt kasvattavat merkitystään jo lähi-tulevaisuudessa. Järjestelmien tullessa yhä kompleksisemmiksi perinteinen lineaarinen elinjaksomalli muodostuu liian kalliiksi – sekä aika että resurssimielessä – ja kykenemättömäksi reagoimaan muutoksiin. Viimeaikainen nopea tietotekniikan ja synteettisten ympäristöjen kehittyminen on johtanut simulaatiopohjaisen materiaalihankintaprosessin konseptiin (SBA, Simulation-Based Acquisition). SBA mahdollistaa järjestelmien määrittelyn, konseptien kokeilemisen sekä suorituskyky-kustannus-suhteeltaan parhaan vaihtoehdon määrittämisen. Se tukee hankepäälliköitä sekä kustannustehokkaampien että kuhunkin tehtävään suorituskyvykkäämpien järjestelmien hankinnassa muuttamalla lineaarisen hankintaprosessin iteratiiviseksi ja hyödyntämällä simulointia vaatimusten jakamiseen, konseptimäärittelyyn, järjestelmäsuunnitteluun ja kehittämiseen sekä käyttämällä virtuaaliprototyypin evaluointia alkuvaiheen iteroinnissa.

Simulaatioympäristön luominen ja simulaatiojärjestelmän käyttäminen järjestelmä- ja operatiivisella tasolla suorituskyvyn vahvistamiseksi sekä uusien tarpeiden määrittelemiseksi luo uusia mahdollisuuksia optimoida suorituskyvyn kehittämistä ja kokeilla erilaisia teknistoiminnallisia konsepteja. Järjestelmäkonsepti voidaan evaluoida virtuaalisella koekentällä (Virtual Proving Ground). Virtuaaliprototyypissä sekä alustavissa suunnitteluvaiheissa jatkuva järjestelmän suunnittelu- ja rakenneperiaatteiden testaus muodostaa pääpainon. Testauksessa syntyneitä tietoja käytetään hyväksi myös elinjaksokustannusten ja riskien arvioinnissa.

Yhteisiin standardeihin perustuvat **synteettiset ympäristöt** mahdollistavat monikansallisten joukkojen sekä eri varuskunnissa toimivien joukkojen yhteisoperaation harjoittelun samassa virtuaalimaailmassa.

Neuroverkot tarjoavat biologisia järjestelmiä muistuttavan lähestymistavan tiedonkäsittelyyn. Tiedot prosessoidaan rinnakkaisesti yksinkertaisten prosessointielementtien (neuronien) muodos-

tamassa verkossa. Neuroverkkojen etuina ovat massiivisen rinnakkaisuuden mukanaan tuoma erittäin nopea tiedonkäsittely, epäherkkyys elementtien ominaisuuksien muutoksille, opetettavuus ja sovittautuvuus sekä kompaktisuus muihin tiedonkäsittelyjärjestelmiin verrattuna. Neuroverkko-teknologialla voi olla vallankumouksellisen vaikutus nerokkaiden ammusten, autonomisten järjestelmien ja tiedustelu- sekä valvontajärjestelmien suorituskykyyn.

6.2 Bioteknologia

Ilmaisu ja tunnistaminen: 10 vuoden aikajänteellä kriittisiä kehittämisalueita ovat biohyökkäyksen havaitsemiseen tarvittavat ilmaisimet ja järjestelmät. Geeniteknologia tarjoaa mahdollisuuden biohyökkäysaineiden nopeaan tunnistamiseen sekä hyökkääjän jäljittämiseen.

Lääketieteellinen suoja ja parantaminen: Rakennusten ja laittilojen sekä henkilöiden suojaamiseen tarvittavat suodatin/neutralisointi- ja (rokete)teknologiat, vaikutukselle altistuneiden henkilöiden hoitoteknologia ja alueiden, rakennusten sekä henkilöiden puhdistamiseen tarvittava teknologia.



NCB-uhkien ilmaisu, puhdistautuminen ja lääketieteellinen hoito ovat keskeisiä suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä myös sotaa alempiasteisissa kriiseissä. Kuvassa suomalainen ilmakaaritekniikalla toteutettu NBC-suojatelletta. [Scantarp]

Hybriditeknologinen potentiaali: Pidemmällä aikajänteellä erityisen merkittäviksi nousevat aivoteknologia, käyttäytymistieteet ja bio-pii-rajapinta, jotka mahdollistavat ajatuksella ohjattavien laitteiden yleistymisen.

6.3 Materiaalitekнологia

Radiotaajuksella ja optisella spektrin alueella toimivien **suojaheitteiden ja -verhojen sekä valemateriaalien kehittäminen** sekä nopea massamainen valmistaminen.

Kehittyvä mikroelektronikka ja fotonikka yhdessä laajamittaiseen käyttöön otettavien **mikrosähkömekaanisten järjestelmien** (MEMS, microelectromechanical system) teknologian kanssa johtaa sekä täysin uudenlaisiin sovelluksiin että mahdollistaa nykyisille sovelluksille täysin uudenlaisia käyttökohteita. Näiden kolmen teknologian kehityksen myötä järjestelmien älykkyys ja kyky aistia toimintaympäristöään sekä kommunikoida sen kanssa kasvaa merkittävästi. Samoin järjestelmäelementtien koko pienenee, toimintaympäristön sietokyky paranee, energiankulutus sekä huollon tarve vähenevät². Tämä kehitys johtaa erilaisten äärimmäisen hajautettujen ja automaattisesti itsensä konfiguroivien järjestelmien, kuten sirotettavien sensoriverkkojen, älykkäiden miinakenttien, sirotettavien tiedustelu- ja häirintäjärjestelmien, ad hoc -tiedonsiirtoverkkojen, omatunnistusjärjestelmien yms. voimakkaaseen yleistymiseen.

Halvat ja kevyet rakennemateriaalit, joiden avulla voidaan tuottaa kevyempiä, nopeampia ja ketterämpiä lavetteja tai parantaa samanpainoisen lavetin ballistista suojaa.

Älykkäät materiaalit ja älyrakenteet, jotka kykenevät aistimaan olotilansa ja muuttamaan sitä. Nämä lisäävät järjestelmän suorituskykyä, mahdollistavat järjestelmien käyttöprofiilin optimoinnin sekä elinjakson aikaisen kustannusten minimoinnin. Lisäksi ne voivat johtaa merkittäviin muutoksiin mekaniikassa ja mekatroniikassa - esimerkiksi siivessä olevien siivekkeiden korvaamista yhtenäisellä muotoaan muuttavalla älyrakenteella linnun siipien tavoin. Ensisijainen intressi on puolustustarviketeollisuudella, jonka tämä alue myös tulisi rahoittaa.

Vaikeasti havaittavat materiaalit ovat materiaaleja, jotka sovellettuna suojattaviin kohteisiin vähentävät niiden herätettä ja lisäävät siten alustansa mahdollisuuksia välttää havaituksi tulemiselta ja seurannalta, mikä lisää hengissä selviämisen todennäköisyyttä. Tällaisia materiaaleja ovat erilaiset komposiitit, keraamit, elastomeerit ja maalit sekä pinnoitteet.

Uudet energettisen materiaalit sekä näiden uudet sytytinjärjestelmät (ml. lasersytytys) mahdollistanevat tarkastelujakson alkupuolella 2,5-kertaisen räjähdetehon. Pidemmällä aikajänteellä teoreettisen kemian tavoitteena on lisätä tehoa jopa 8–20-kertaiseksi. Tämän tutkimus realisoitunee sovelluksiksi aikaisintaan 2020–2025. Nykyteknologian kehittymisellä on saavutettavissa 20–60 % järjestelmien tehon kasvu tarkastelujakson aikana.

² MEMS-teknologia mahdollistaa suurikokoisten liikkuvien osien, kuten ohjusten hakupään tai viestijärjestelmän suunnattavan antennin, korvaamisen elementillä, jossa liikkuvat osat ovat mikroskooppisia ja jopa mikropiirille integroituja. Äärimmäisen pieni liikkuva massa merkitsee äärimmäisen pientä hitausmomenttia ja kitkaa, eli äärimmäisen nopeata ja hyvin vähän tehoa kuluttavaa toimintaa sekä erittäin pieniä rakennneosia. Elementit voidaan tuottaa massamaisesti ja halvalla mikropiirien tuotantoprosessissa eikä kallista kokoonpanoa juurikaan tarvita. Tämä johtaa nykyisiin servomekaanisiin järjestelmiin verrattuna täysin erilaiseen hintarakenteeseen.

6.4 Hybriditeknologiat

Herätteen sekä herätetaustan hallinta radiotaajuisella ja optisella spektrin alueella on yhdistelmä sensori-, vastasensori-, materiaali- ja informaatioteknologiaa.



Herätteen hallinta on kansallinen strateginen osaamisalue. [Patria]

Sähkön tuotanto ja varastointi on jo ja tulee jatkossa olemaan yhä kasvavassa määrin merkittävimpiä hidasteita uuden teknologian käyttöönotolle taktisissa järjestelmissä. Uudet tuotantoteknologiat, kuten polttokennot ja toimintaympäristöstä erilaisten kemiallisten prosessien avulla energiaa uuttavat teknologiat, tarjoavat huomattavan potentiaalin nykyisiin polttomoottorigeneraattori-laturi-akku-ratkaisuihin nähden. Sähkön tuotantoon ja tilapäisvarastointiin tarvittavaan teknologiaan liittyy myös **tehoelektroniikka** sekä **korkealämpösuprajohteet**.

Robottiikka lisää taistelutehoa korvaamalla ja täydentämällä ihmisiä monissa suurissa riskejä sisältävissä tehtävissä. Ne lisäävät sotilasjoukon kykyä lisäämällä tilannetietoisuutta, mahdollistamalla taktisen etätulituksen ja vähentämällä logistista kuormaa. Robottiikka on teknologia-alue, joka perustuu joukkoon perusteknologioita, kuten koneäly, tietojenkäsittely (ml. kuvankäsittely ja hahmontunnistus), mikroelektroniikka, sähkön tuotanto ja varastointi, hydrauliiikka, elektroniikka, eri sensorteknologiat sekä kuvankäsittely. Laajentunut koneäly mahdollistaa uusia taistelijan ja robotin välisiä vuorovaikutusmuotoja, mikä vähentää taistelijoiden työtaakkaa mahdollistamalla sen, että he pikemminkin valvovat kuin ohjaavat taistelukentän lukuisia autonomisia robottijärjes-

telmiä. Operaattoreille tarjottava informaatio on suodatettu vain olennaisiin yksityiskohtiin ja hälytyksiin.

6.5 Järjestelmänhallinta

Järjestelmänhallinta ei ole teknologia käsitteen perinteisessä mielessä, vaan joukko erilaisia elinjaksonhallintaan liittyviä menetelmiä, joilla varmistetaan järjestelmäkokonaisuuden toimivuus koko sen elinjakson aikana. **Järjestelmänhallinnan kriittisyys puolustusvoimille on jopa suurempi kuin minkään yksittäisen teknologia. Osa-alueiden osaamista voidaan ostaa ulkoa, mutta kokonaisuuden on oltava omissa käsissä.**

Järjestelmänhallinta liittyy suoraan puolustusmateriaalin elinjakson hallintaan. Suorituskyvyn luomiseen ja ylläpitämiseen liittyviä kriittisiä osaamisalueita ovat:

- vaatimustenhallinta
- arkkitehtuurin hallinta
- konfiguraation hallinta
- elinjakson hallinta mukaan lukien elinjaksokustannusten hallinta
- simulaatiopohjainen konseptien evaluointi

Näiden alueiden mahdollinen osaamispuute viivästyttää hankkeita, kasvattaa tarpeettomasti varustamiskustannuksia sekä johtaa siihen, etteivät hankkeet kykene saavuttamaan kehittämisohjelmissa asetettuja suorituskykytavoitteita. Siten teknologisen kehityksen ennustamista ja erilaisten tekniikoiden perässä juoksemista tärkeämpää on luoda puolustusvoimille kyky ottaa käyttöön hallitusti uutta teknologiaa.

7. VERTAILU ERI MAIDEN KRIITTISIIN TEKNOLOGIOIHIN

Kriittisten teknologioiden luetteloiden ymmärretään yleensä sisältävän listan siitä, mihin järjestelmiin ja teknologisiin kehittämissuunnitelmiin investoimalla voidaan saavuttaa tavoitetilassa kuvatut suorituskykytarpeet. Todellisuudessa teknologiat eivät kuitenkaan kehity näin yksinkertaisesti ohjatusti, vaan niiden kehittymistä ohjaa monimutkainen yhdistelmä sotilaallisia, poliittisia, taloudellisia, sosiaalisia, ympäristöllisiä ja teknisiä tekijöitä. Siten kriittisten teknologioiden luetteloihin on aina suhtauduttava kriittisesti.

On kuitenkin selvää, että asteittaisilla parannuksilla lavetteihin on saavutettavissa vähemmän kuin uusilla teknologioilla, jotka tuovat systemaattisen ja merkittävän parannuksen suorituskykyyn. Esimerkiksi ballistiikkaa kehittämällä voidaan saavuttaa marginaalista tulen tehon kasvua ja ajoneuvoteknologiaa kehittämällä saadaan jonkin verran keveämpiä tai nopeampia lavetteja, mutta hakeutumisteknologioihin investoimalla saavutetaan useita kertaluokkia parempi tulen teho ja informaatioteknologiaan investoimalla merkittävä taistelutahdin nopeutuminen.

Vuosia 2020-30 arvioitaessa on otettava lähtökohdaksi toisaalta nykyisin tutkittavina olevat teknologiat ja toisaalta sodankäynnin trendit. Näistä saadaan muodostettua tarpeiden ja mahdollisuuksien yhdistelmänä käsitys siitä mihin suuntaan ja karkealla tasolla millä aikataululla sotateknologia ja sotilaalliset järjestelmät kehittyvät sekä mitkä ovat kriittisiä teknologioita tässä kehityksessä.

Venäläisten kriittisiksi näkemät teknologiat ovat:

1. informaatioteknologia ja elektroniikka (mikro- ja optoelektroniikka, lasertekniikka, radiotekniikka, tietotekniikka)
2. tuotantoteknologiat sekä energiaa ja tehoa säästävät teknologiat
3. uudet propulsioteknologiat
4. materiaaliteknologia (uudet rakennemateriaalit, energeettiset materiaalit)
5. kemianteknologia
6. bioteknologia
7. paikantaminen ja navigointi

Venäläisessä luettelossa näkyy maan ongelmat korkeateknologisen puolustusmateriaalin tuotannossa, erityisesti optroniikan ja mikroelektroniikan valmistuksessa. Lisäksi on havaittavissa konventionaalisen asevaikutuksen suorituskyvyn tärkeys. Paikantamisen, navigoinnin, informaatioteknologian ja uusien propulsioteknologioiden kehittämisen myötä syntyy uutta kykyä kehittää kaukolaukaistavia täsmäaseita sekä entistä liikehtimiskykyisempiä lavetteja ja liikkumiskykyisempiä joukkoja. **Teknologinen panostus viittaa siihen, että Venäjä pyrkii rakentamaan puolustustaan nopeammin liikkuvilla ja pienemmillä joukoilla, jotka pyrkivät lamauttamaan puolustajan sen oman asevaikutuksen ulkopuolelta.**



Sukhoi T-50 hävittäjän prototyyppi saataneen sarjatuotantoon 2016.[Jane's]

Amerikkalaisten kriittiset teknologiat ovat DARPA:n mukaan:

1. vastaterrorismiin liittyvät moninaiset teknologiat
2. robustit itsestään muodostuvat verkot
3. verkottuneet miehitetyt ja miehittämättömät järjestelmät
4. bioteknologia
5. tiedustelu-, valvonta- ja maalinsoitusteknologia sekä täsmävaikuttaminen
6. maanalaisten suojatilojen tuhoamiseen tarvittavat teknologiat
7. avaruuden käytön mahdollistavat teknologiat
8. kognitiiviset tietojärjestelmät

Maavoimien kriittiset teknologiat AAN-suunnitelman (Army After Netxt) mukaan:

1. hybriditehojärjestelmät
2. ihminen-järjestelmä rajapinta, kognitiiviset tieteet
3. herätteen hallinta
4. maajärjestelmien suojajärjestelyt
5. uudet materiaalit
6. vaihtoehtoiset ajoaineet

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

7. biologinen ja kemiallinen suoja, vasta-aineet ja rokotteet
8. polttoaineiden tehokkuus
9. logistiikan tehokkuus

Amerikkalaisten liikehtimiskykyä, täsmälogistiikkaa ja informaatioylivoimaa korostavassa näkökulmassa ei ole nähtävissä olennaista muutosta. Sen sijaan varautuminen taisteluun kolmannen maailman valtioita vastaan on uusi trendi: pyritään lamauttamaan kaukaa puolustajan torjuntakyvyn ulkopuolelta (osin jopa kotimaasta asti) hyvin suojautuneita kohteita sekä suojautumaan terroristihyökkäyksiltä. Tämä asymmetrinen asetelma, jossa toisella osapuolella on täysi ilmanherrsus ja toisella ei käytännössä lainkaan ilmatorjuntakykyä, muodostaa jälkensä kummankin osapuolen käyttämään teknologiaan.

NATO:n näkemyksen mukaan seuraavat teknologia-alueet ovat erityisen merkittäviä:

1. sähkövoima ja tehoelektroniikka
2. suunnatun energian aseet
3. tietokone ja tietoliikenneteknologiat
4. elektronisen sodankäynnin ja informaatioidankäynnin teknologia
5. elektroniikka
6. bioteknologia
7. materiaalirakenneteknologia
8. inhimilliset tekijät ja ihminen-järjestelmärajapinta
9. täsmäasevaikutusteknologiat
10. automaatio ja robotiikka

Eri lähteiden mukaan tehty arvio ruotsalaisten kriittisinä pitämistä teknologia-alueista on:

1. tilannetietoisuus
2. päätöksentekoylivoima
3. täsmävaikuttamiskyky
4. verkostokeskeinen arkkitehtuuri

Ruotsalaisen näkemys perustuu OODA-syklin tehostamiseen ja sitä kautta saavutettavaan nopeaan hallittuun täsmävaikutukseen. Tämän suorituskyvyn ratkaisu perustuu verkostokeskeisiin rakenteisiin. Lavetin merkitys jää kokonaisuuden merkityksen varjoon.

Tässä tutkimuksessa esitetty kriittisten teknologia-alueiden luettelo noudattelee länsimaisia käsityksiä. Suomalainen luettelo poikkeaa joissakin kohdissa muiden näkemyksistä pitkälti erilaisen sodan ja taistelun kuvan vuoksi. Suomen puolustusvoimien päätehtävä on oman maan puolustaminen, joka on ainakin 2010 luvun alussa suhteellisen vähämerkityksinen tekijä muiden asevoimien kehittämisessä. Koska nämä maat kuitenkin pitkälti sanelevat länsimaiden sotateknologisen kehityksen suunnan, Suomi ei 10 vuoden aikajänteellä välttämättä enää kykene hankkimaan kaikkea tarvitsemaansa puolustusteknologiaa niistä maista, joihin se tällä hetkellä tukeutuu.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Yleistä

Teknologisen kehityksen aiheuttamat muutokset ovat luonteeltaan pääasiassa kehittyviä (evolutio-näärisiä) eivätkä vallankumouksellisia (revolutionäärisiä). On kuitenkin huomattava, että tarkasteltaessa 20 vuoden aikajännettä, myös pienin askelin tapahtuva muutos johtaa merkittävään kokonaisvaikutukseen. Tämä vaikutus näkyy väistämättä paitsi puolustusmateriaalissa, myös sodan ja taisteluiden luonteessa. Siten teknologinen kehitys tulee huomioida myös operaatio-taidossa ja taktiikassa sekä toiminnan ja resurssien organisoinnissa. **Vaikka teknologista vallan-kumousta ei ole odotettavissa, voi operaatiotaidon, johtajuuden ja tekniikan muodostaman kokonaisuuden integrointi ja kokonaiskehittäminen tuoda vallankumouksellisen vaikutuk-sen joukkojen suorituskykyihin.**

Teknologista kehitystä leimaa toiminnallinen konvergenssi (sama järjestelmäkokonaisuus tuottaa erilaisia palveluita) ja fyysinen divergenssi (palvelut tuotetaan useissa eri elementeissä tai niiden yhteistyönä ja tuodaan saataville verkon välityksellä) sekä virtualisoituminen. Nämä ilmiöt vaikuttavat kaikkeen: puolustusmateriaaliin, doktriiniin, taktiikkaan, kehittämissohjelmiin, hank-keisiin ja joukkokokoonpanoihin.

8.2 Organisatoriset vaikutukset

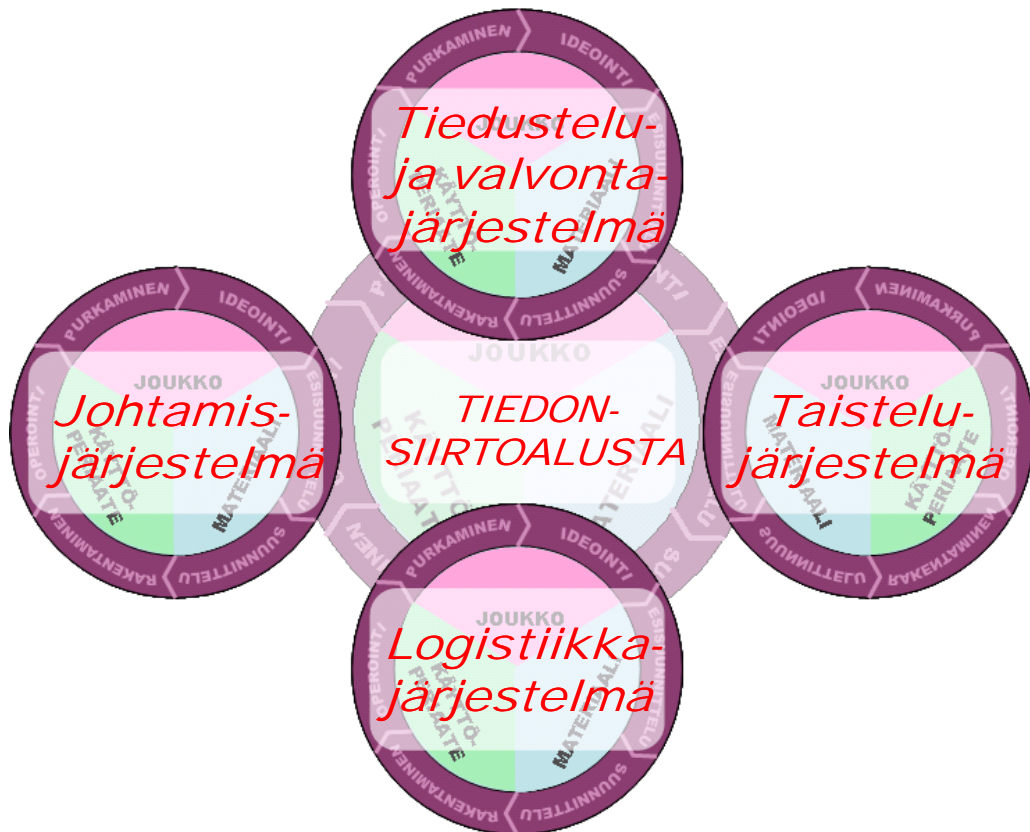
Tekninen kehitys sekä sodan ja taistelun kuvan kehitys johtavat kokonaisuuden korostumiseen ja yksilön – olipa sitten kyse lavetista, aseesta tai taistelijasta – suhteellisen merkityksen vähenemi-seen. Suorituskyky luodaan useiden eri yksiköiden ja yksilöiden verkottuneena yhteistoimintana. Tämä kehitys noudattaa yleistä yhteiskunnan ja tekniikan kehitystä. Sodankäyntiin sovellettuna se mahdollistaa merkittäviä suorituskykyparannuksia nykyiseen verrattuna.

Järjestelmien verkottuminen tekee sodankäynnistä yhä monimutkaisempaa ja sodankäynnin järjestelmistä yhä kompleksisempia. Kasvavan kompleksisuuden hallintaan on kiinnitettävä riittävästi huomiota. **Järjestelmäkokonaisuudelle on asetettava suorituskykyvaatimukset ja sen toimintakonsepti on kuvattava. Puolustusjärjestelmälle on laadittava järjestelmäarkki-tehtuuri sekä hallittava kokonaisuuden ja osajärjestelmien konfiguraatiota.**

Tekninen kehitys siirtää huomion järjestelmän eri osien paikallisesta suorituskyvystä verkon tarjoaman palvelun suorituskykyyn. Verkon suorituskyky puolestaan syntyy sen eri osiin sijoitettujen ohjelmistojen yhteistoimintana. Järjestelmäkokonaisuuden tuottamaa palvelua on hallittava ja kehitettävä keskitetysti koordinoituna huomioiden sekin seikka, että palvelu syntyy eri tahojen omistamissa ja hallinnoimissa elementeissä, mutta palvelu voi olla myös sellainen, ettei elementti tarvitse sitä itse, vaikka se voi olla kokonaisuuden kannalta välttämätön.

Eri elementtien muodostamasta verkosta saadaan paras suorituskyky vain jos yhteisiä palveluita tuottavat elementit ovat yhteiskäyttöisiä. Nykyistä sensoreiden, aselavettien sekä tiedonsiirtosolmujen jakamista toimialoille, puolustushaaroille ja eri aselajeille tulee tarkastella kriittisesti. Teknologian kehityksen ohjaama järjestelmien konvergoituminen johtaa myös ase-

lajien tehtävien ja järjestelmien konvergoitumiseen. Siten myös aselajien rooleja sekä nykyisten olemassaoloa ja uusien tarvetta tulisi tarkastella huolellisesti. Erityisesti monikäyttöisten ja ulottuvien sensori- ja vaikuttamiselementtien omistamisen ja hallinnan irrottamista nykyisistä toimijoista tulee harkita yhteiskäyttöisyyden varmistamiseksi.



Teknologisen ja taloudellisen kehityksen lähes väistämätön seurannaisvaikutus on siirtyminen verkoston tukemaan puolustukseen. Siitä saadaan täysimääräinen hyöty vain mikäli organisaatiot optimoidaan vastaamaan toiminnallisia kokonaisuuksia.

Tulevaisuudessa jokainen järjestelmäelementti on ensisijaisesti informaatiojärjestelmä ja kokonaisuuden osa ja vasta toissijaisesti jonkin tietyn suorituskyvyn tuottava elementti, joten järjestelmien kehittämisen koordinaatiotarve kasvaa voimakkaasti. Nykyiset suorituskyvyn suunnittelu- ja rakentamisorganisaatiot eivät kykene realistisesti arvioituna hallitsemaan tätä, mikä muodostaa merkittävän rajoituksen kyvyssä hyödyntää uutta teknologiaa.

Edellä kuvattu kehityslinja edellyttää puolustusvoimatason ohjausta ja koordinaatiota valtakunnallisten järjestelmien ja palveluiden sekä yhteiskäyttöisten järjestelmäelementtien – esimerkiksi paikantamisen – koko elinjakson ajan.

Informaatioteknologian merkityksen nousu suorituskyvyyssä sekä sen osuuden kasvaminen kaikissa järjestelmissä johtaa siihen, että ohjelmistojen hallinnasta tulee yhä tärkeämpää myös

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

kunnossapidossa. Puolustusvoimien hankinta- ja kunnossapitojärjestelmää tulisi kehittää tämä huomioon ottaen. Ohjelmistojen hallinnan tulee olla osa järjestelmän muutakin hallintaa

8.3 Vaikutukset varustamiseen

Varustamisessa on syytä tarkastella huolellisesti teknologisen kehityksen sekä yhteiskunnan kehityksen aikaansaamia muutoksia kustannusrakenteissa, sillä viime kädessä se määrittää mitkä lukuisista olemassa olevista teknologioista, arkkitehtuureista ja doktriineista nousevat merkittäviin asemiin.

Kalliita elementtejä, kuten hakeutuvia ammuksia, on useissa kehitysarvioissa ja hankkeissa pidetty huonoina investointeina niiden suuren kappalehinnan vuoksi. Teknologinen kehitys pienentää 20 vuodessa merkittävästi massatuotettavien elementtien hintaa. Mikroelektronikan sekä mikrosähkömekaanisten elementtien rakenne- ja valmistusteknologia tulee laskemaan erilaisten sensoreiden, sulautettujen tiedonkäsittelyjärjestelmien ja tietoliikennelaitteistojen hintaa samalla kun se pienentää niiden kokoa, painoa ja tehon sekä tilan tarvetta. Tämän kehityksen myötä se, mitä nykyisin pidetään mahdottomana, on osa arkipäivää 2025. Moni ei olisi uskonut vuonna 1985, että jokaisella reserviläisellä olisi kyky ottaa yhteys lähes mistä tahansa maapallolla lähes kehen tahansa maailmassa omalla radiolaitteella jo 15 vuoden kuluttua!

Teknologian kehittyminen ja järjestelmien teknistyminen sekä eri järjestelmien ja laitteiden verkottuminen toisiinsa tekee suorituskyvyn luomisesta koko ajan monimutkaisempaa ja vaativampaa toimintaa. Järjestelmien verkottuminen tekee kehittämisohjelmien ja hankkeiden koordinoinnista välttämättömyyden, kun koordinointi aiemmin on nähty tarpeelliseksi lähinnä resurssien tehokkaan käytön varmistamiseksi.

Viimeistään rahoituksen pienentyminen pakottaa tarkastelemaan suorituskyvyn kokonaisuutta ja optimoimaan siihen käytettävät resurssit. On syytä tarkastella jonkin suorituksen vaatiman maali-tiedustelun, tulenjohton, viestijärjestelmän sekä tuli- ja huoltoportaiden aiheuttamia kustannuksia ampumatarvikkeen hinnan lisäksi. Kalliiden elementtien välillinen kustannusvaikutus korvaa usein elementin korkeamman hinnan. Toisaalta yleisesti pätee myös se, että korkeampi teknologia tarkoittaa korkeampien yksikkökustannusten lisäksi myös lyhempää elinjaksoa.

Kansainväliseen kriisinhallintaan osallistuminen laajentaa mahdollisia operaatioalueita ja johtaa siten nykyistä huomattavasti laajempiin (tropiikista arktiselle alueelle) olosuhde- ja suorituskyykyvaatimuksiin. Tämä **nostaa varustamiskustannuksia** nykyisestä riippumatta siitä hankitaanko useita erilaisia eri olosuhteisiin optimoituja järjestelmiä vai hankitaanko yksi järjestelmä, joka sopii kaikkiin olosuhteisiin. Mikäli toimintaympäristöä laajennetaan käsittämään sekä arktiset että trooppiset toiminta-alueet ja käyttötilanteita kriisinhallinnasta laajamittaiseen sotaan, ja jos materiaalin on lisäksi oltava vähintään NATO-yhteensopivaa ja joissakin tapauksissa jopa yhteistä, tullaan tilanteeseen, jossa myös kustannusrakenne vastaa suurvaltojen puolustusmateriaalin kustannusrakenteita. Tällöin nykyisellä puolustusbudjetilla hankittavissa ja ylläpidettävissä oleva suorituskyyky poikkeaa merkittävästi nykyisestä. Tämä koskee myös hankinta-, ylläpito- ja käyttöhenkilöstön laatu- ja määrävaatimuksia. Tulee tehdä selkeä, johdonmukainen sekä toteuttamiskelpoinen toimintastrategia, jolla tämä ongelma ratkaistaan.

Järjestelmien yhteentoimivuus on teknistä yhteensovittamista laajempi kysymys eikä onnistu ilman käsitemaailman ja konseptien yhtenäisyyttä.

2025 jälkeen käytössä olevia järjestelmiä ei kannata ostaa nykyisen uhkakuvan ja konseptien perusteella. Tulevaisuuden kannalta varmintaa on kehittää johtamis- ja täsmävaikuttamiskykyä sekä vastaavasti keinoja lamauttaa vastustajan johtaminen ja täsmävaikuttaminen.

8.4 Arkkitehtuuriset vaikutukset

Tulevaisuuden sodan ja siten myös taistelun kuvan ennustamisen vaikeuden sekä joukoille jo nykyisin nähtävien erityyppisten tehtävien määrän vuoksi joukkojen ja järjestelmien tulee olla modulaarisia ja komponenttipohjaisia. Tämä johtaa väistämättä suurten kokonaisjärjestelmien sirpaloitumiseen pienemmistä itsenäisistä, mutta toisiinsa liitetyistä järjestelmistä muodostuvaksi kokonaisuudeksi, verkostoksi. Tämä edellyttää niiden arkkitehtuuristen ratkaisujen olevan lisäksi palvelulähtöisiä³, yhteiskäyttöisiä ja avoimiin rajapintoihin perustuvia. Verkottuneen kokonaisuuden palveluiden tuottamiseksi järjestelmien arkkitehtuuria tulee hallita sekä järjestelmätasolla, että itsenäisten järjestelmien välillä (ns. System of systems -taso).

Puolustusjärjestelmän kehittämistä hallitaan määrittämällä kaikille puolustusjärjestelmän hierarkiatasoille (puolustusjärjestelmä, osajärjestelmät, alijärjestelmät):

- suorituskky- ja järjestelmäarkkitehtuuri
- operatiiviset ja toiminnalliset suorituskkyvaatimukset
- järjestelmävaatimukset

Suomen puolustusratkaisua määritettäessä on ennen pitkää tehtävä ratkaisu rakennetaanko tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmä ilmatilan ja avaruuden käyttöön tukeutuvaksi vaiko kokonaan maanpäälliseen infrastruktuuriin perustuvaksi. Ensin mainittu edellyttää selkeää liittoumaratkaisua, jälkimmäinen merkittävää investointia maanpäälliseen infrastruktuuriin.

Sodankäynnin ja järjestelmien monimutkaistuminen ja spatiaalisen ulottuvuuden kasvaminen yhdessä tiukentuvien ajallisten vaatimusten kanssa edellyttävät toisaalta automaation lisäämistä paitsi tiedon keräämisessä ja analysoinnissa, pitkällä tähtäimellä myös päätöksenteossa. Järjestelmän ja ihmisen väliseen rajapintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota ja järjestelmiä tulisi kehittää ja hankkia niitä käyttävien ihmisten ehdoilla. Muussa tapauksessa uusi tekniikka on pikemminkin rasite kuin tehokas työkalu.

Teknologista kehitystä voidaan hyödyntää vain, mikäli johtamisjärjestelmä muutetaan suunnitelmalähtöisestä tavoitelähtöiseksi, keskitetystä hajautetuksi ja vertikaalisesta komentoketjusta horisontaaliseksi yhteistyöverkostoksi. Tämä edellyttää doktriinin, organisaatioiden ja prosessien

³ Palvelulähtöisyyden korostaminen vähentää järjestelmien toteutustekniikan suhteellista merkitystä sekä mahdollistaa palvelukokonaisuuden hallinnan vaikka sen taustalla oleva tekniikka kehittyy ja jopa vaihtuu toiseksi.

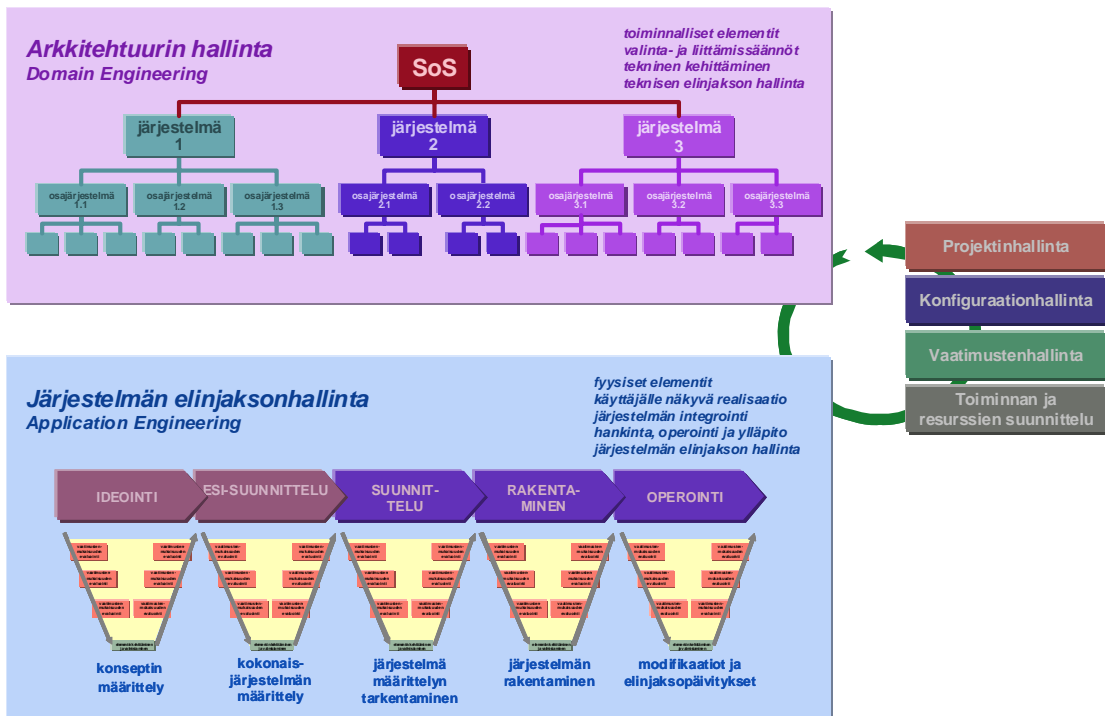
kehittämistä yhdessä tekniikan kanssa. Johtamisjärjestelmän kehittäminen edellyttää selkeää panostamista käyttäytymistieteiden tutkimukseen. Tässä yhteydessä on kuitenkin muistutettava, että sodankäynti on viime kädessä toimintaa, jossa päällikkö on ratkaisuisista yksin vastuussa ja yksilö on tarvittaessa pakotettava toimintaan, joka asettaa hänet kuolemanvaaraan. Matriisiorganisaatiot eivät tällaisessa tilanteessa todennäköisesti toimi. Edellä mainittu horisontaalisen toimintasuunnan korostaminen tarkoittaa nimenomaisesti esimiehen käskemän tehtävän suorittamisen nopeuttamista ja tehostamista horisontaalisella yhteistyöllä ja tiedonvaihdolla.

8.5 Vaikutukset kehittämisen ohjaamiseen

Puolustusjärjestelmää tulee kehittää suorituskykylähtöisesti. Tämä edellyttää lavettipohjaisesta kehittämisestä luopumista. Suorituskykylähtöistä kehittämistä hallitaan:

- ohjaamalla suorituskyky- ja järjestelmäarkkitehtuureja
- hallitsemalla suorituskyky- ja järjestelmävaatimuksia
- kuvaamalla toiminnallisia konsepteja ja käyttötapauksia

Edellä kuvatut hallintamekanismit edustavat ennakoivaa kokonaisvaltaista suunnittelua, jonka vaikutukset ulottuvat sekä organisatorisesti että ajallisesti hankkeita ja kehittämisohjelmia laajemmalle. Tämän vuoksi **suorituskyvyn suunnittelu tulee erottaa suorituskyvyn kehittämisestä** (kehittämisohjelmat, hankkeet ja hankintaprojektit).



Suorituskyvyn suunnittelu tulee irrottaa sen kehittämisestä. Tämä mahdollistaa järjestelmien yhteensopivuuden ja yleiskäyttöisten elementtien kehittämisen sekä vähentää merkittävästi kompleksisten järjestelmäkokonaisuuksien rakentamiseen liittyviä riskejä.

Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin

Hallintamekanismien tulee ulottua koko järjestelmähierarkiaan: kokonaispuolustusjärjestelmä (System of Systems)

- järjestelmäperheet (Family of Systems), eli puolustusjärjestelmän osajärjestelmät
- tiedustelu- ja valvontajärjestelmä
- johtamisjärjestelmä
- taistelujärjestelmä
- tiedonsiirtoalusta
- logistiikkajärjestelmä
- yksittäiset järjestelmät, eli puolustusjärjestelmän osajärjestelmien osajärjestelmät

Modulaarisista osista muodostuvaa laajaa teknistoiminnallista kokonaisuutta ei *de facto* voi suunnitella, vaan se muodostuu väistämättä tarpeen ja käyttöfilosofian kehittyessä. Tulevaisuus on siis vain osin suunniteltavissa, osin se muodostuu itsestään. Tämän vuoksi ohjausmekanismien tulee olla tasapainoinen kokonaisuus etukäteissuunnittelua ja mahdollisuuksiin tarttumisen mahdollistamiseksi. Siksi järjestelmävaatimusten tulee kaikilla tasoilla kohdistua ensisijaisesti ympäristöolosuhteiden ja rajapintojen määrittämiseen. Tällä varmistetaan järjestelmän modulaarisuus ja yhteensopivuus sekä luodaan edellytykset evolutionaariselle kehittämiselle ja pitkäjänteiselle elinjaksonhallinnalle sekä varmistetaan toteutuksen vapaus, uusien innovaatioiden hyödyntäminen ja uuden teknologian käyttöönotto.

LIITTEET

Liite 1: Käytetyt lyhenteet

AJ	Anti-Jamming
BC	Biological-Chemical
BFT	Blue Force Tracking
COTS	Commercial-Off-The-Shelf
DARPA	Defence Advanced Research Projects Agency
EFP	Explosively-Formed Penetrator
EMP	Electro-Magnetic Pulse
HLA	High-Level Architecture
HPM	High-Power Microwave
ISTAR	Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance
KASI	Kaksipuolisen taistelun simulaattori
LPD	Low Probability of Detection
LPE	Low Probability of Exploitation
LPI	Low Probability of Intercept
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System
MIMO	Multiple Input–Multiple Output
OODA	Observe, Orientate, Decide, Act
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency ID
SAR	Synthetic Aperture Radar
SBA	Simulation-Based Acquisition
SE	Synthetic Environment
SoS	System of Systems
STAE	Sotatekninen Arvio ja Ennuste
STOW	Synthetic Theatre Of War
TVM	Tiedustelu, valvonta ja maalitus

Liite 2: Käytetyt lähteet

Lähdemateriaalina on käytetty vain julkisia lähteitä, jotta tuotos saadaan pidettyä julkisena, kuten:

- Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA): *Strategic Plan*. 2/2003
- *NATO RTO Land operations in the year 2020*. NATO Research and Technology Organization, maaliskuu 1999.
- FMV:n raportti *Tekniska utvecklingstrender*, helmikuu 2001.
- Christopher Bowie (deputy director, strategic planning USAF), Robert Haffa (Director, Northrop Grumman analysis center), Robert Mullins (Senior Analyst, Northrop Grumman analysis center): *Future war: what trends in America's post-cold war military conflicts tell us about early 21st century warfare*. January 2003
- FOI: *En visionsstudie om Försvarmaktens insatsfunktion*. FoRMA/PE Årsrapport 2000, tammikuu 2001.
- PEStal-os: *Sotatekninen arvio ja ennuste 2020 osa 1, Teknologian kehitys*
- PEStal-os: *Sotatekninen arvio ja ennuste 2020 osa 2, Puolustusjärjestelmien kehitys*
- US Department of Defence: *Joint technology vision 2020*.
- FOI report: *Russian Military-Technological Capacity*
- PEStal-os raportti 8/2005: *Ylivertaiset (Towers of Excellence) osaamisalueet vuonna 2025*.
- PEStal-os raportti 8/2005: *Kriittisten teknologia-alueiden määrittäminen 2025 tilanteessa*.
- Carl G. O'Berry, vice president, strategic architecture (Boeing): *Transformation in the aerospace industry*. 22.1.2003
- PEStal-os: *Sotatekninen arvio ja ennuste 2005 osa 1, Teknologian kehitys*
- PEStal-os: *Sotatekninen arvio ja ennuste 2005 osa 2, Puolustusjärjestelmien kehitys*
- David Alberts:: *A conceptual framework for network centric warfare*.

Erityisen käyttökelpoisena lähteenä on huomattava NATO:n LO 2020, joka kuvaa teknologioiden merkityksen sekä perustelee niiden kriittisyyden. Luettelossa esitettyjä lähteitä ei kuitenkaan voi hyödyntää suoraan, sillä niiden sisältö ja merkitys on tulkittava suomalaiseen viitekehykseen, joka on resurssien, uhkan ja asevoimien tehtävän osalta jossain määrin erilainen kuin ilmailuvoimaisen kaukana kotimaistaan toimivan NATO-koalition tapaus.