

JUSSI KANGASPUNTA, ESA LAPPI, AHTI SALO, JUUSO LIESIÖ

## **Asejärjestelmien kustannustehokkuuden arviointi simulointi- ja systeemianalysimenetelmin**

### **1 Johdanto**

Asejärjestelmien kustannustehokkuuden arvioinnilla pyritään löytämään sellainen asejärjestelmä tai asejärjestelmäkombinaatio, jolla voidaan saavuttaa haluttu vaikutus mahdollisimman alhaisella kustannustasolla. Kustannustehokkuuden arviointi on haasteellista, koska asejärjestelmän vaikuttavuutta on usein tarpeellista mitata usean vaikuttavuuskriteerin suhteen ja koska asejärjestelmän vaikuttavuus ja kustannukset ovat riippuvaisia siitä mitä muita asejärjestelmiä sen ohella käytetään ja millaisissa käyttötilanteissa.

Etenkin Yhdysvalloissa on tehty paljon asejärjestelmien kustannustehokkuuden arviointiin liittyvää tutkimusta, jossa yksittäisiä asejärjestelmiä on tarkasteltu arvioimalla niiden suorituskykyä suhteessa niistä aiheutuviin kustannuksiin. Tällaisia arviointituloksia on hyödynnetty erityisesti uusien asejärjestelmähankintojen ja tuotekehitysstrategioiden suunnittelussa (Parnell ym., 1998). Aiemmin tehdyissä asejärjestelmien kustannustehokkuuteen liittyvissä tutkimuksissa ei kuitenkaan ole huomioitu riittävän konkreettisella tasolla yksittäisten asejärjestelmien välisiä vuorovaikutuksia. Lisäksi tutkimuksissa käytetyt menetelmät ovat vaatineet paljon arviointitietoa ja arvioidut asejärjestelmät ovat olleet osittain visioita (Stafira ym., 1997).

Tässä artikkelissa esitellään Maanpuolustuksen tieteellisen neuvottelukunnan (MATINE) rahoittamassa tutkimusprojektissa "Portfolioanalyysi asejärjestelmien kustannustehokkuuden arvioinnissa" kehitettyä portfolio- ja skenaarioanalyysimenetelmiin perustuvaa asejärjestelmien kustannustehokkuuden arviointiviitekehystä. Näiden menetelmien etuna aiempiin lähestymistapoihin on i) asejärjestelmien kustannustehokkuuden arviointi osana järjestelmäyhdistelmää (eli portfoliota), jolloin eri järjestelmien väliset vuorovaikutukset voidaan ottaa huomioon sekä ii) kustannustehokkuuden perustaminen asejärjestelmän vaikuttavuuteen useassa erilaisessa käyttötilanteessa (skenaarioissa). Menetelmät on kehitetty Teknillisen korkeakoulun Matematiikan ja Systemianalyysin laitoksella ja asejärjestelmäyhdistelmien vaikuttavuuksien estimoinnissa on käytetty Puolustusvoimien Teknillisen Tutkimuslaitoksen (PVTT) Sandis-taistelusimulaattorihjelmistoa.

Asejärjestelmäyhdistelmien vaikuttavuuksiin ja suhteellisiin kustannuksiin perustuen voidaan tunnistaa kustannustehokkaat asejärjestelmäyhdistelmät; yhdistelmä on kustannustehokas jos mikään muu yhdistelmä ei saavuta suurempaa vaikuttavuutta yhtä suurella tai pienemmällä kustannustasolla. Kustannustehokkaiden asejärjestelmäyhdistelmien tunnistaminen mahdollistaa analyysit esimerkiksi siitä, miten saavutettu vaikuttavuus kehittyy kustannustason kasvaessa tai millä kustannustasolla on mahdollista saavuttaa haluttu vaikuttavuus. Toisaalta voidaan antaa perusteltuja päätössuosituksia siitä, millainen asejärjestelmäyhdistelmä antaa parhaan vaikuttavuuden tietyllä kustannustasolla tai millä kustannustasoilla yksittäinen asejärjestelmä on kustannustehokas.

Kappaleessa 2 esitellään asejärjestelmien kustannustehokkuusmalli ja kappaleessa 3 Sandis-taistelusimulaattori. Kappaleessa 4 esitellään sovellusesimerkki. Kappaleessa 5 esitetään yhteenveto.

## **2 Asejärjestelmäyhdistelmien kustannustehokkuusmalli**

Asejärjestelmäyhdistelmien kustannustehokkuuden arvioinnin lähtökohtana on vertailtavien asejärjestelmien sekä niiden käyttötilanteiden ja vaikuttavuuskriteerien täsmäntäminen. Lisäksi jokaiseen asejärjestelmään liitetään sen kokonaiskustannukset. Asejärjestelmällä tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä rajattua aseiden, ampumatarvikkeiden ja muiden asejärjestelmän käytössä tarvittavien osajärjestelmien muodostamaa kokonaisuutta, jonka vaikuttavuutta ja kustannustehokkuutta halutaan kulloinkin tutkia. Vertailtavien asejärjestelmäyhdistelmien voidaan lisäksi vaatia toteuttavan haluttuja reunaehtoja, esimerkiksi yhdistelmään kuuluvien järjestelmien tekninen yhteensopivuus, soveltuvuus erityyppisiin käyttötilanteisiin tai esimerkiksi kyky suorittaa asejärjestelmän tyypillisimmät tehtävät  $n$  kertaa  $k$  vuorokaudessa. Käyttötilanteella tarkoitetaan tehtävän, maaston, olosuhteiden sekä vihollisen muodostamaa kokonaisuutta, esimerkiksi taisteluosaston puolustustaistelun käyminen mekanisoidun jalkaväkijoukon pääosia vastaan harvateisellä alueella. Asejärjestelmän vaikuttavuudella eri käyttötilanteissa tarkoitetaan sen suorituskykyä asetettujen kriteerien suhteen. Näitä kriteerejä voivat olla esimerkiksi omat ja vihollisen odotetut tappiot sekä taistelun kesto.

Eri asejärjestelmäyhdistelmien vertailua varten tarvitaan niiden kustannukset sekä vaikuttavuudet täsmennettyjen vaikuttavuuskriteerien suhteen. Näitä arvioitaessa on huomioitavaa, että yhdistelmän vaikuttavuus tai kustannus ei useimmissa tapauksissa ole suoraan yhdistelmään kuuluvien yksittäisten asejärjestelmien vaikuttavuuk-

sien tai kustannusten summa. Esimerkiksi vihollisen tappiot eivät kasva lineaarisesti oman tykistön määrän kasvaessa ja toisaalta uuden järjestelmätyypin käyttöönotto vaatii kertaluontoisia investointeja esimerkiksi tyyppihuollon järjestämiseksi. Kustannuksiin liittyvät epälineaarisuudet voidaan usein mallintaa suhteellisen tarkasti perustuen tarjouksiin, hintaennusteisiin tai vastaavantyyppisten asejärjestelmien käytön yhteydessä kerättyihin elinjaksokustannuksiin.

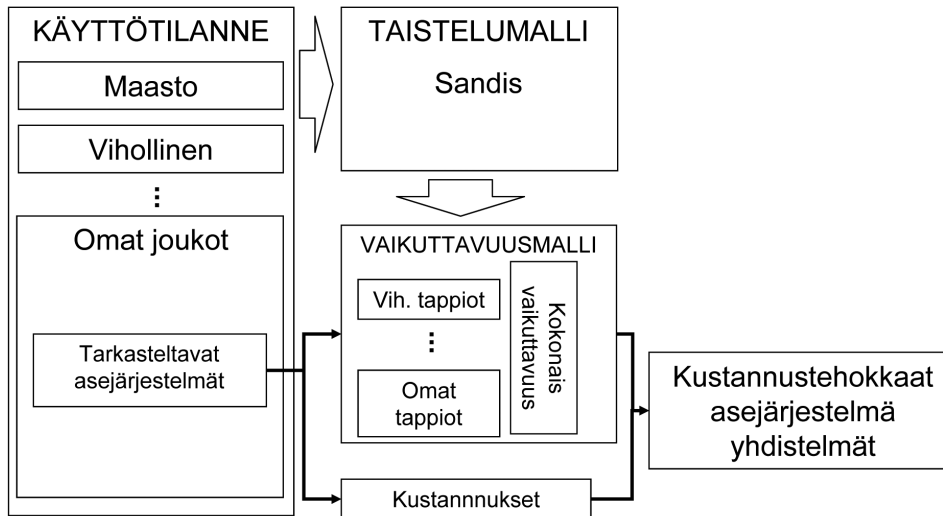
Asejärjestelmien välisten vuorovaikutusten arvioiminen on mahdollista taistelumallien avulla. Taistelumallilla simuloidaan taistelun kulkua jokaisessa käyttötilanteessa useilla eri asejärjestelmäyhdistelmillä. Tarvittavien simulointien määrää voidaan vähentää suorittamalla simulointi vain tietyillä asejärjestelmäyhdistelmillä ja näistä ajoista saatujen vaikuttavuusarvojen perusteella estimoidaan vaikuttavuusmalli, joka liittyy jokaiseen mahdolliseen asejärjestelmäyhdistelmään suoritusarvot kunkin vaikuttavuuskriteerin suhteen.

## 2.1 Kustannustehokkaat asejärjestelmäyhdistelmät

Vaikuttavuus- ja kustannustietoihin perustuen voidaan kaikkien mahdollisten asejärjestelmäyhdistelmien joukosta määrittää kustannustehokkaat yhdistelmät (kts. kuva 1). Asejärjestelmäyhdistelmä on kustannustehokas, jos mikään toinen yhdistelmä ei saavuta suurempaa (kokonais)vaikuttavuutta pienemmällä kustannuksilla. Käytettäessä useaa vaikuttavuuskriteeriä useassa eri käyttötilanteessa on asejärjestelmäyhdistelmien suoritustasot eri kriteerien suhteen eri käyttötilanteissa aggregoitava kokonaisvaikuttavuudeksi.

Asejärjestelmäyhdistelmän käyttötilannekohtainen kokonaisvaikuttavuus voidaan määrittää esimerkiksi additiivisen mallin avulla, jossa käyttötilannekohtainen kokonaisvaikuttavuus saadaan laskemalla yhteen kriteerikohtaiset vaikuttavuudet painottamalla niitä arvioiduilla kriteeripainoilla (Keeney ja Raiffa, 1976). Edelleen asejärjestelmäyhdistelmän kokonaisvaikuttavuus saadaan painottamalla käyttötilannekohtaista kokonaisvaikuttavuutta käyttötilanteiden arvioiduilla painokertoimilla, jotka voidaan määrittää esimerkiksi arvioituina tapahtumatodennäköisyyksinä (Kangaspunta, 2008).

Kustannustehokkuutta voidaan tarkastella, vaikka kriteerien ja käyttötilanteiden suhteellisista tärkeyksistä ei voitaisi esittää tarkkoja arvioita. Epätarkat väittämät, esimerkiksi ”omien tappioiden minimointi on tärkeämpää kuin viholliselle tuotettujen tappioiden maksimointi” voidaan mallintaa joukkona käyviä kriteeripainoja. Tällöin asejärjestelmäyhdistelmä on kustannustehokas, jos yksikään kustannuksiltaan pienempi asejärjestelmäyhdistelmä ei tarjoa suurempaa kokonaisvaikuttavuutta kaikilla sallituilla kriteeripainoilla.



KUVA 1 Asejärjestelmien kustannustehokkuuden arviointimallin rakenne.

### 3 Sandis taistelusimulaattori

Sandis taistelusimulaattorin laskentamalleja on kehitetty PVTT:llä vuodesta 2002 ja ohjelmisto-osuus alkoi 2005 (Murtola, 2005). Vuodesta 2006 kehitysprojekti on sisältänyt kansainvälisen osan, kun Sandikseen on saatu Norjasta Forsfarets Forskning Institutin (FFI) tohtori Walther Åsenin kehittämä CALCRADIO viestiyhteyksien laskentamalli, joka on yhdistetty PVTT:n taistelumalliin.

Kehitettyyn taistelumalliin syötetään parametreina karttaan sidottu taistelutilanne, omien sekä vihollisen joukkojen vahvuudet sekä taistelussa käytettävissä olevat aseet ja ammuksat. Simuloinnin aikana voidaan yksityiskohtaisesti tarkastella joukkueen (vast.) tulen vaikutusta toiseen joukkueeseen. Näiden joukkueen tason laskelmien summana syntyvät suurempien yksiköiden taistelujen kulkua kuvaavat tulokset, joihin sisältyy kunkin yksikön tappiot ja tieto niistä asejärjestelmistä, jotka ovat tappioita aiheuttaneet. Lisäksi saadaan arvio operaation onnistumistodennäköisyydestä.

Malli huomioi jalkaväen aseiden tulen vaikutuksen, epäsuoran tulen vaikutuksen ja raskaiden suora-ammunta-aseiden vaikutuksen. Esimerkiksi jalkaväen ampumatarvikkeiden kulutus tulee lasketuksi yksittäisten aseiden tarkkuudella ja käytössä olevien ampumatarvikkeiden määrä vaikuttaa joukkojen tulenkäyttöön. Tykistön ja raskaan suora-ammuntatulen osalta vaikuttavia suureita ovat käytetty ampumatarvike ja ampumaetäisyys sekä ampumasuunnat, jotka vaikuttavat sirpaleviuhkoihin ja hajontoihin. Vaunujen ja aselavettien välistä taistelua kuvataan raskaiden aseiden tulena pistemaaleihin jalkaväen tulen tapaan.

Malli huomioi muun muassa sellaiset asiat kuten joukon suojan tason ja joukon taistelijoiden (vast.) toiminnan: tulittaa, etenee, suojautuu, sitoutuu haavoittuneiden evakuointiin jne.

Nykyisellään kehitetty malli soveltuu pienimmillään noin joukkueen tulen vaikutusten arviointiin ja toteutetun ohjelmiston osalta laskenta on käytännössä osoittautunut mahdolliseksi maksimissaan vajaan vuorokauden mittaisiin prikaati vastaan prikaati -tason tarkasteluihin asti.

### 3.1 Ohjelmiston toiminta ja sen edellytykset

Sandis vaatii lähtötietoina organisaatiot ja organisaatioiden sotavarustuksen parametriridatan. Tämän jälkeen tarkasteltavat joukot sijoitetaan kartalle ja kartalla käydään sotapeli. Toiminta vaatii etukäteen tehtyä parametrintia asejärjestelmille, mikä on jo jalkaväen ja tykistön yleisimpien aseiden osalta tehty, mutta voi vaatia lisämallinnus- ja parametrintityötä myös kunkin laskentatilanteen erityispiirteiden osalta. Kun organisaatiot ja asetiedot on luotu, alkaa sotapelivaihe. Tarkasteltavien joukkojen käyttö, tavoitteet ja tehtävät on sidottava kartalle eli laskija tarvitsee tilanteesta karkean yleiskuvan ja käsikirjoituksen käyttötilanteen pääpiirteisistä kulkuvaihtoehtoista. Päätökset tulenkäytöstä ja joukkojen liikkeistä pitää saada käyttötilanteen käsikirjoituksesta tai pelaaja päättää näistä pelin kuluessa. Tällöin pohjana voidaan pitää ohjesääntöjen mukaisia toimintatapoja kullekin joukolle. Kun tilanne on laskettu loppuun, Sandis antaa tappioennusteet, ja kunkin asejärjestelmän tuottamat tappiot kuhunkin joukkoon ja asejärjestelmään.

Simuloinneissa tarvitaan tiedot käyttötilanteen aikana tapahtuvasta päätöksenteosta, jossa ratkaistavana kysymyksenä voivat olla esimerkiksi joukon etenemisreitit, tulenkäytön suuntaaminen ja käytössä oleva epäsuora tuli. Tällaisessa tilanteessa taistelijaparin voisi muodostaa laskentaoperaattori ja upseeri, joiden yhteistyössä operaattori vastaisi ohjelmiston ja laskennan yksityiskohdista ja upseeri tarkentaisi joukkojen toimintaan liittyvät yksityiskohdat. Asiakastaholta saadaan toiminnan perusteena olevan yleistilanteen ja tarkasteltavien käyttötilanteiden pääpiirteet. Menetelmä vastaa norjalaista käytäntöä ja se on osoittautunut toimivaksi käytännössä. Menettelytapojen kehittäminen on kuitenkin tarpeen laskennan sekä taktisten ja operatiivisten vertailujen tekemisen tehostamiseksi.

#	LÄHTÖJOUKOT													TULOKSET							
	Aseet (määrä):			Ammukset (määrä):		Vihollisen joukot				Omat Joukot				Vihollisen tappiot				Omat Tappiot			
	A	B	C	1	2	V1	V2	V3	V4	O1	O2	O3	O4	V1'	V2'	V3'	V4'	O1'	O2'	O3'	O4'
1	4	0	0	960	0	438	42	6	16	601	35	4	0	91	17	0	2	161	35	0	0
2	4	12	0	960	480	438	42	6	16	601	35	4	12	166	18	2	2	156	35	0	6
3	4	24	0	960	960	438	42	6	16	601	35	4	24	173	18	3	2	165	35	0	9
4	6	0	0	1440	0	438	42	6	16	601	35	6	0	99	22	0	2	233	35	0	0
5	6	12	0	1440	480	438	42	6	16	601	35	6	12	196	29	2	2	180	35	0	5
6	6	24	0	1440	960	438	42	6	16	601	35	6	24	249	35	3	2	147	35	0	7
7	8	0	0	1920	0	438	42	6	16	601	35	8	0	131	22	0	2	183	35	0	0
8	8	12	0	1920	480	438	42	6	16	601	35	8	12	231	33	2	2	134	35	0	5
9	8	24	0	1920	960	438	42	6	16	601	35	8	24	245	32	3	2	140	35	0	9
10	12	0	0	2880	0	438	42	6	16	601	35	12	0	161	24	1	2	195	35	0	0
11	12	12	0	2880	480	438	42	6	16	601	35	12	12	231	31	2	2	147	35	0	5
12	12	24	0	2880	960	438	42	6	16	601	35	12	24	253	34	3	2	136	35	0	8
13	4	12	1	960	480	438	42	6	16	601	35	4	12	205	20	2	4	151	35	0	4
14	4	18	1	960	720	438	42	6	16	601	35	4	18	227	18	3	6	149	35	0	7
15	4	24	1	960	960	438	42	6	16	601	35	4	24	229	18	4	7	150	35	0	7
16	6	12	1	1440	480	438	42	6	16	601	35	6	12	237	31	3	5	173	35	0	4
17	6	18	1	1440	720	438	42	6	16	601	35	6	18	277	30	3	6	131	35	0	6
18	6	24	1	1440	960	438	42	6	16	601	35	6	24	283	27	4	7	137	35	0	7
19	8	12	1	1920	480	438	42	6	16	601	35	8	12	243	31	2	4	131	35	0	4
20	8	18	1	1920	720	438	42	6	16	601	35	8	18	282	38	3	6	147	35	0	6
21	8	24	1	1920	960	438	42	6	16	601	35	8	24	281	29	4	7	122	35	0	7

KUVA 2 Taistelun lopputulos Sandis taistelusimulaattorista.

### 3.2 Sandiksen tulostustiedot

Sotapelin jälkeen Sandis sisältää taistelun kulun kartalla minuutin aikaresoluutiolla, kunkin joukon vahvuusjakaumat kunakin laskenta-ajan hetkenä, kunkin asejärjestelmän osuudet tappioiden tuottamisessa, ampumatarvikekulutuksen ja kunkin asejärjestelmän tuottamat tappiot kuhunkin maalialkioon. Tärkein tarkastelutapa on vertaileva tutkimus, jossa kahden eri vaihtoehdon lopputilojen eri vaihtoehtoja ja todennäköisyyksiä vertaillaan paremmuuden selvittämiseksi. Kuvassa 2 on esimerkki Sandis-ohjelmiston antamasta käyttötilanteen lopputuloksesta, josta voidaan lukea omien ja vihollisen joukkojen lähtövahvuus ja tappiot eri asejärjestelmäyhdistelmille.

## 4 Sovellusesimerkki kustannustehokkuuden arvioinnista

Seuraavassa havainnollistetaan tutkimuksessa kehitetyjä menetelmiä arvioimalla kolmen asejärjestelmän A, B ja C kustannustehokkuutta. Näistä asejärjestelmistä muodostettuja yhdistelmiä arvioidaan yhdessä käyttötilanteessa ja kriteereiksi valitaan vihollisen neljälle eri joukkotyypille (esim. jalkaväki, panssarijalkaväki, kranaatinheitin ja tykistö) aiheutuvat suhteelliset tappiot. Asejärjestelmistä muodostettujen yhdistelmien avulla viholliselle aiheutetut tappiot määritetään Sandis taistelusimulaattorin avulla vaihtelemalla tarkasteltavassa käyttötilanteessa käytettävien aseiden ja ammusten lukumäärää.

### 4.1 Taistelutilanne

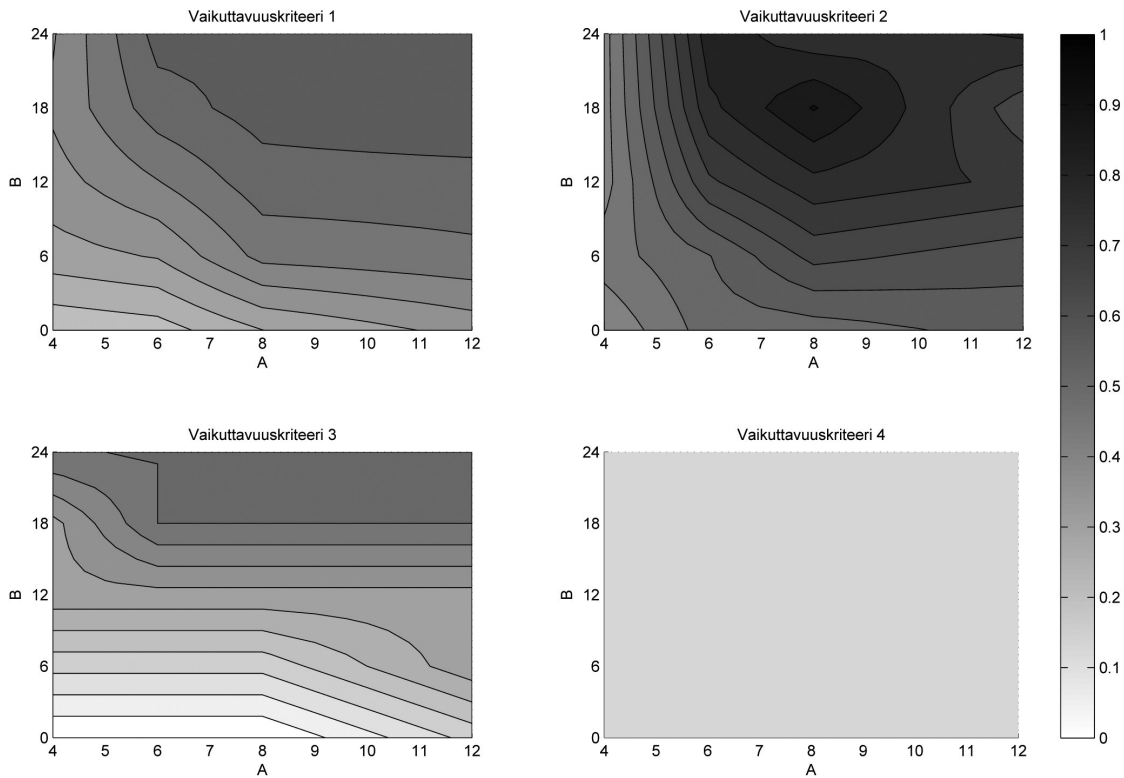
Vihollisen joukkojen vahvuudet pidetään samoina jokaisen simulaattoriajon alussa

konkretisoimaan käyttötilannetta, jolloin kriteereinä voidaan perustellusti tarkastella vihollisen suhteellisia tappioita. Omien joukkojen vahvuutta vaihdellaan vain asejärjestelmien A, B ja C osalta. Asejärjestelmä C sisällytetään tarkasteluun siten, että se joko on tai ei ole käytössä osana asejärjestelmäyhdistelmää. Kun asejärjestelmä C ei ole käytössä, asejärjestelmän A lukumäärää vaihdellaan välillä 4–12 ja asejärjestelmän B lukumäärää välillä 0–24. Käytettäessä asejärjestelmää C, asejärjestelmän A lukumäärää vaihdellaan välillä 4–8 ja asejärjestelmän B lukumäärää välillä 12–24. Taistelusimulaattorilla suoritetaan yhteensä 29 erilaista ajoa, jonka lisäksi vaikuttavuuksia interpoloidaan siten, että saadaan vaikuttavuudet yhteensä 290 eri asejärjestelmäyhdistelmälle.

#### 4.2 Tulokset

Simulaattorituloksia on visualisoitu siten, että kuvassa 3 on esitetty vihollisen suhteelliset tappiot tasa-arvokäyrien avulla eri kriteerien suhteen kullekin yhdistelmälle, kun asejärjestelmä C ei ole käytössä. Kuvasta voidaan havaita miten vaikuttavuudet eri kriteerien suhteen muuttuvat asejärjestelmien lukumäärän vaihdellessa. On erityisesti huomioitava, että suhteelliset tappiot eivät käyttäydy lineaarisesti käytettyjen asejärjestelmien lukumäärän suhteen. Kriteerin 2 suhteen näyttäisi siltä, että suurinta vaikuttavuutta ei saavuteta maksimoimalla asejärjestelmien lukumääriä. Tätä voidaan selittää esimerkiksi siten, että vihollinen irtaantuu taistelusta ja sille ei voida aiheuttaa kyseisen kriteerin suhteen lisää tappioita vaikka asejärjestelmien lukumäärää kasvatettaisiin. Tai vihollinen toimii kyseisessä tilanteessa – jossa vastapuolella on selvä ylivoima ja vihollinen tietää tämän – siten, että sen suhteelliset tappiot kyseisen kriteerin osalta jäävät pienemmiksi. Tehtävän onnistumisen kannalta ei kuitenkaan ole aina välttämätöntä saada viholliselle paljon tappioita; sen sijaan saattaa olla tarkoituksenmukaisempaa minimoida taistelun kesto, pakottaa vihollinen muuttamaan operaatio- tai liikesuunnitelmaansa rikkomalla sen taistelujärjestys jne. Näitä kriteereitä ei ole tässä yhteydessä tarkasteltu.

Asejärjestelmällä B näyttäisi olevan huomattavasti enemmän vaikutusta vihollisen tappioihin kriteerin 3 suhteen kuin asejärjestelmällä A. Kriteerin 4 suhteen ei viholliselle saada aiheutettua käytännössä lainkaan tappioita, mutta asejärjestelmän C ollessa käytössä saadaan aikaan vaikuttavuutta myös kriteerin 4 suhteen (ei kuvassa). Toisin sanoen, jos tehtävän kannalta on olennaista, että kriteerin 4 suhteen pitäisi viholliselle saada aiheutettua mahdollisimman paljon tappioita, niin asejärjestelmän C käyttöönottamista olisi ehdottomasti harkittava.

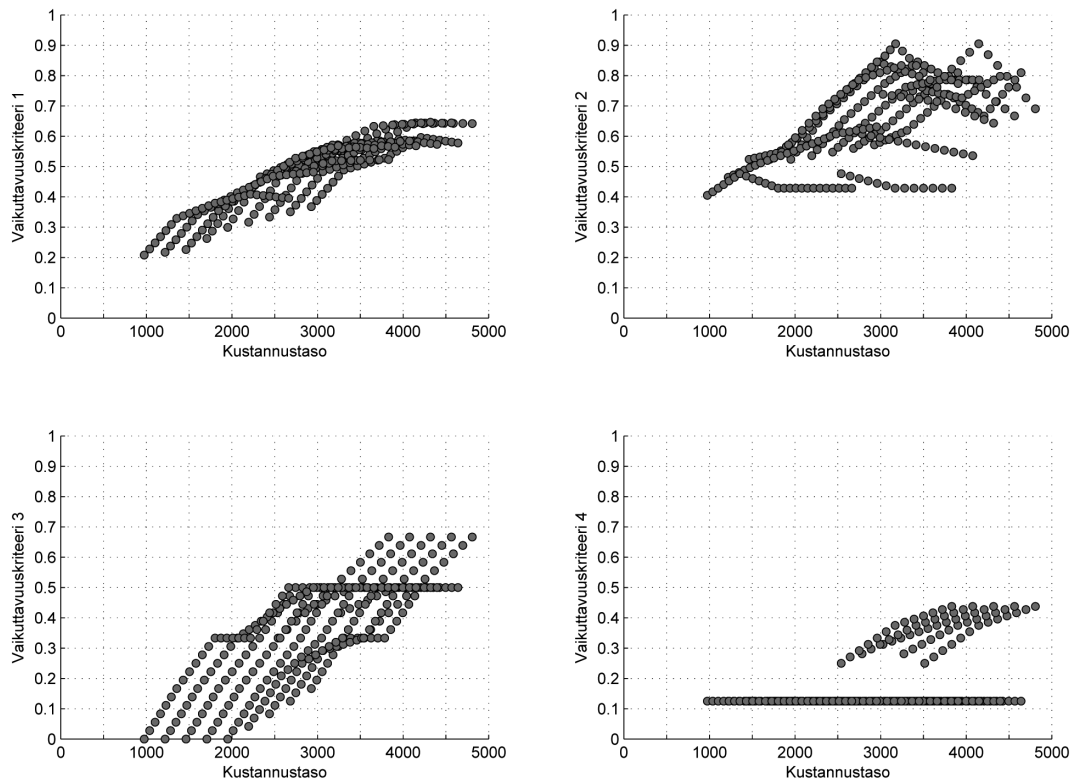


KUVA 3 Viholliselle aiheutetut suhteelliset tappiot eri vaikuttavuuskriteerien suhteen, kun asejärjestelmä C ei ole käytössä.

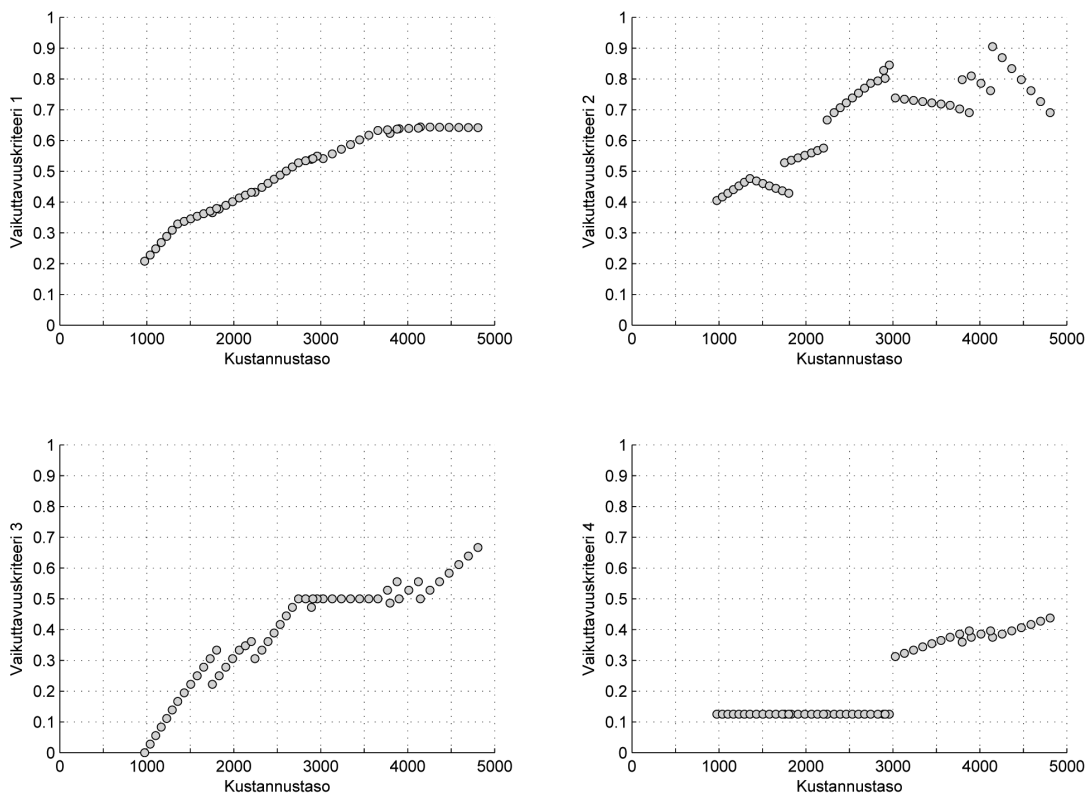
### 4.3 Kustannustehokkuuden vertailu

Seuraavassa tarkastellaan asejärjestelmäyhdistelmien kustannustehokkuutta suhteessa niistä aiheutuviin kustannuksiin ja viholliselle aiheutettuihin suhteellisiin tappioihin. Asejärjestelmien suhteelliset kustannukset asetetaan seuraavasti: A~100 yksikköä, B~25 yksikköä, C~400 yksikköä. Kaikki mahdolliset asejärjestelmien yhdistelmät ja vaikuttavuudet eri kriteerien suhteen on esitetty kuvassa 4 sillä kustannustasolla, joka vähintään tarvitaan yhdistelmän käyttämiseksi. Kuvassa yksi ympyrä vastaa yhtä asejärjestelmäyhdistelmää. Havaitaan, että kullakin kustannustasolla saavutetaan varsin erilaisia vaikuttavuuden arvoja, mikä johtuu eri asejärjestelmien ominaisuuksista. Toisin sanoen asejärjestelmäyhdistelmillä voidaan saada paljon vaikuttavuutta aikaiseksi jonkin tietyn kriteerin suhteen, mutta vastaavasti samalla yhdistelmällä ei jonkin toisen kriteerin suhteen saavuteta välttämättä kovinkaan suurta vaikuttavuutta.





KUVA 4 Asejärjestelmäyhdistelmien vaikuttavuudet eri kustannustasoilla.



KUVA 5 Kustannustehokkaiden asejärjestelmäyhdistelmien vaikuttavuudet eri kustannustasoilla.

Oletetaan kaikkien vaikuttavuuskriteerien olevan yhtä tärkeitä. Tällöin kaikki kustannustehokkaat asejärjestelmäyhdistelmät niiden kustannusten suhteen ovat kuvan 5 mukaiset. Yhteensä kustannustehokkaita asejärjestelmäyhdistelmiä on 56 kpl, joka on noin 19 % kaikista mahdollisista (290 kpl) yhdistelmistä.

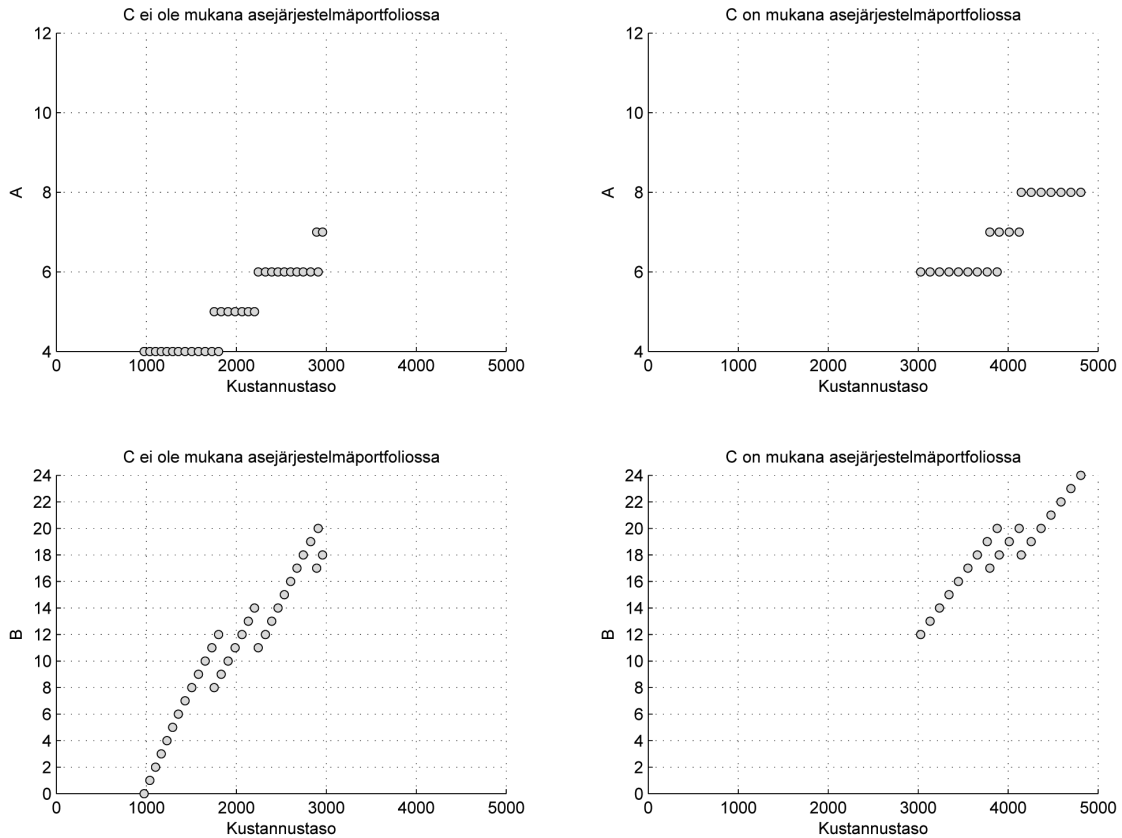
Kuvassa 6 on esitetty kunkin mahdollisen asejärjestelmän lukumäärät kustannustehokkaissa asejärjestelmäyhdistelmässä kustannustason suhteen. Kuvasta havaitaan, että asejärjestelmä C on mukana kaikissa kustannustehokkaissa yhdistelmissä kustannustason saavuttaessa tietyn kynnsarvon.

Kuvassa 7 on kustannustehokkaiden asejärjestelmäyhdistelmien sisältämien asejärjestelmien lukumäärät ja lisäksi tasa-arvokäyrien avulla on havainnollistettu vaadittavaa kustannustasoa. Kuvasta voidaan lukea kuinka suuri määrä tiettyä asejärjestelmää sisältyy kustannustehokkaisiin asejärjestelmäyhdistelmiin eri kustannustasoilla. On huomioitava, että kustannustehokkaihin asejärjestelmäyhdistelmiin ja siten myös niiden sisältämien asejärjestelmien lukumäärään vaikuttaa olennaisesti asetettujen suhteellisten kustannusten suuruudet. Kuvasta 7 voidaan lukea myös, että kustannustason täytyy olla verrattain suuri, jotta asejärjestelmä C sisältyisi kustannustehokkaisiin asejärjestelmäyhdistelmiin, mutta kustannustason saavuttaessa tietyn kynnsarvon on asejärjestelmä C käytössä jokaisessa kustannustehokkaassa asejärjestelmäyhdistelmässä.

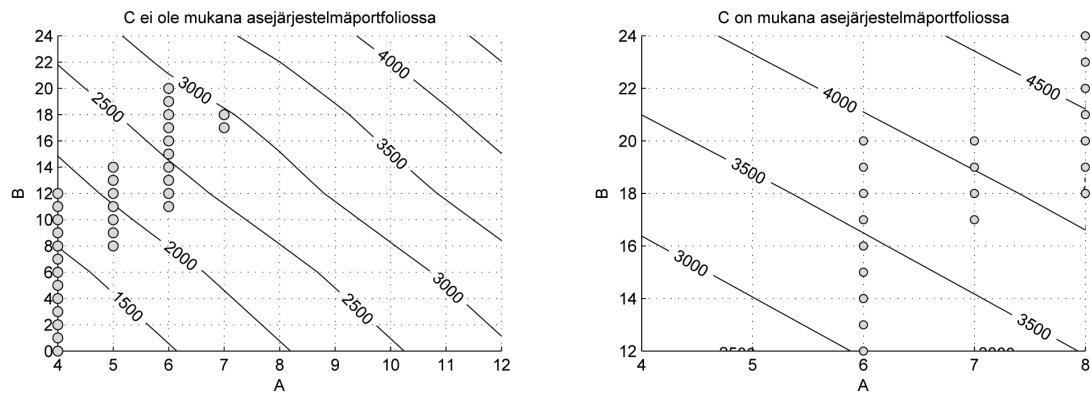
## 5 Yhteenveto

Tutkimuksessa kehitettyjen menetelmien avulla asejärjestelmiä arvioidaan niiden muodostamina yhdistelminä. Tämä on perusteltua, koska eri asejärjestelmien välillä taistelutilanteessa on merkittäviä vuorovaikutuksia. Kustannustehokkuuden arvioimiseksi tarvitaan kustannusten lisäksi informaatiota yhdistelmien vaikuttavuuksista asetettujen kriteerien suhteen. Menetelmien avulla kustannustehokkuutta voidaan tarkastella suhteellisten kustannusten perusteella. Menetelmällä voidaan käsitellä myös lähtökohtatietojen ja –parametrien sisältämiä epävarmuuksia, arviointikriteerien painotuksien hajontaa ja tarkasteltavien käyttötilanteiden keskinäisten painotuksien vaihtelua.

Suoritettujen kustannustehokkuusanalyysien avulla voidaan tarkasteltavien asejärjestelmäyhdistelmien joukosta tunnistaa eri kustannustasoilla sellaisia vaihtoehtoja, joiden vaikuttavuus asetettujen kriteerien ja käyttötilanteiden suhteen on mahdollisimman suuri. Analyysien perusteella saadaan myös informaatiota siitä, millä kustannustasolla yksittäinen asejärjestelmä on kustannustehokas.



KUVA 6 Asejärjestelmäkohtaiset lukumäärät kustannustehokkaissa asejärjestelmäyhdistelmissä.



KUVA 7 Kustannustehokkaiden asejärjestelmäyhdistelmän rakenne.

Kehitettyjä menetelmiä esiteltiin sovellusesimerkin avulla määrittämällä tarkasteltavien asejärjestelmäyhdistelmien joukosta kustannustehokkaita vaihtoehtoja eri kustannustasoilla yhdessä käyttötilanteessa. Kriteereiksi valittiin vihollisen neljän eri joukkotyypin suhteelliset tappiot ja asejärjestelmäyhdistelmien vaikuttavuus perustui erillisen taistelusimulaattorin tuottamiin arvioihin.

Tarkastelussa voidaan ottaa huomioon myös useat käyttötilanteet sekä muita kriteerejä kuten omat tappiot tai tehtävän onnistumistodennäköisyys. Omat tappiot voitaisiin huomioida esimerkiksi minimoitavina kriteereinä tai tarkastelemalla menetettyjä joukkoja kustannuksina. Asiantuntijoiden arviot ja näkemykset ovat tarpeen menetelmän soveltamisessa muun muassa simulaattorilla suoritettavissa sotapeleissä, käyttötilanteiden keskinäisessä painotuksessa, arviointikriteerien tärkeysjärjestyksessä ja kustannustietojen hankkimisessa.

**LÄHTEET**

- Bunn, D.W., Salo, A.A (1993). Forecasting with Scenarios. *European Journal of Operational Research*, Vol. 68, 291–303.
- Heininen, T. (2006). A Method to Calculate the Lethality of Fragmenting Ammunition. In Lancaster and beyond, PVT Publications PVT 2006
- Kangas, L., Lappi, E. (2004). An Example of Markovian Combat Modelling. *Nordic Military Operation Analysis Symposium Proceedings*. Helsinki 27–28.10.2004.
- Kangaspunta, J. (2008). Portfolioanalyysi asejärjestelmien kustannustehokkuuden arvioinnissa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, <http://www.sal.hut.fi/Publications/pdf-files/TKAN08.pdf> (13.8.2008).
- Keeney, R. (1996). Value-Focused Thinking: Identifying Decision Opportunities and Creating Alternatives. *European Journal of Operational Research*, Vol. 92, No. 3, 537–549.
- Keinonen Y. (1954). Jalkaväen tulen vaikutuksesta. Pääesikunta 1954.
- Laitonen, J. (2008). Taistelun simulointi sekä ampumatarvikkeiden ja asejärjestelmien kustannustehokkuus. Sovelletun matematiikan erikoistyö, Teknillinen korkeakoulu, <http://www.sal.tkk.fi/Opinnot/Mat-2.4108/pdf-files/elai08.pdf> (13.8.2008).
- Lappi, E., Kaasinen J. (2007). Optimal Tactics Parameters for Sandis Combat Simulation Code by Using Genetic Algorithms. *Eurogen 2007*. 11–13 June 2007
- Lappi, E. (2006). A Markov Chain Based Method to Evaluate Combat Value of a Platoon After Battle Casualties. In Lancaster and beyond. PVT Publications 11. Finnish Defence Forces Technical Research Centre. 2006 Riihimäki
- Lappi, E., Pottonen O. (2006). Combat Parameter Estimation in Sandis OA Software. In Lancaster and Beyond. PVT Publications 11. Finnish Defence Forces Technical Research Centre. 2006 Riihimäki
- Liesiö, J., Mild, P., Salo, A. (2008). Robust Portfolio Modeling with Incomplete Cost Information and Project Interdependencies. *European Journal of Operational Research*, Vol. 190, 679–695.
- Liesiö, J., Mild, P., Salo A. (2007). Preference Programming for Robust Portfolio Modeling and Project Selection, *European Journal of Operational Research*, Vol. 181, No. 3, 1488–1505.
- Murtola, T. (2005). Varusmiestyö, PVT, Elektroniikka- ja Informaatiotekniikkaosasto.
- Parnell, G.S., Conley H.W., Jackson J.A, Lehmkuhl L.J, Andrew J.M. (1998). Foundations 2025: A Value Model for Evaluating Future Air and Space Forces. *Management Science*, Vol. 44, No. 10, 1336–1350.
- Parnell, G.S., Jackson, J.A., Burk, R.C., Lehmkuhl, L.J., Engelbrecht Jr., J.A (1999). R&D Concept Decision Analysis: Using Alternate Futures for Sensitivity Analysis. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 8, 119–127.
- Prest, A.R., Turvey, R. (1965). Cost-Benefit Analysis: A Survey. *The Economic Journal*, Vol. 75, No. 300, 683–735.
- Salo, A., Hämäläinen, R.P. (1992). Preference Assessment by Imprecise Ratio Statements. *Operations Research*, Vol. 40, No. 6, 1053–1061.
- Stafira Jr., S., Parnell, G.S., Moore, J.T. (1997). A Methodology for Evaluating Military Systems in a Counterproliferation Role. *Management Science*, Vol. 43, No. 10, 1420–1430.