

Aalto-yliopisto
Perustieteiden korkeakoulu
Teknillinen fysiikka ja matematiikka

Epätäydellisen preferenssi-informaation huomioon ottavien päätöksenteon tukimenetelmien vertailu

Kandidaatintyö

22.3.2013

Vilma Virasjoki

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla.
Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tekijä: Vilma Virasjoki

Työn nimi: Epätäydellisen preferenssi-informaation huomioon ottavien päätöksenteon tukimenetelmien vertailu

Päivämäärä: 22.3.2013

Kieli: suomi

Sivumäärä: 32 + 3

Tutkinto-ohjelma: Teknillinen fysiikka ja matematiikka

Vastuopettaja: Raimo P. Hämäläinen

Ohjaaja: DI Jouni Pousi, Systeemianalyysin laboratorio

Tiivistelmäteksti:

Tämä työ vertailee neljää eri epätäydellisen preferenssi-informaation huomioon ottavaa päätöksenteon tukimenetelmää sekä niitä hyödyntäviä ohjelmistoja. Työssä esitellään monitavoitteisen päätösanalyysin perusoletukset sekä lähtökohdat ja perehdytään monitavoitteiseen arvoteoriaan (MAVT), johon kolme neljästä tutkitusta menetelmästä perustuu. Lisäksi esitellään lyhyesti outranking-menetelmien luokka, joiden luokkaan viimeinen tutkittava menetelmä lukeutuu. Työssä käytettävät päätöksenteon tukimenetelmät eivät ota huomioon päätösvaihtoehtojen lopputuloksiin liittyvää epävarmuutta, eli päätöksenteko tapahtuu varmuuden vallitessa.

Työssä tehtävä vertailu pohjautuu sotilaalliseen operaatioon, jota käytetään kunkin menetelmän ja ohjelmiston tutkittavana päätöksentekotilanteena. Päätöksentekotilanteessa on 15 toimintavaihtoehtoa, jotka perustuvat erilaisiin kombinaatioihin valittavissa olevista ilmataistelutaktiikasta sekä suojattavasta kohteesta. Niiden keskinäistä paremmuutta tarkastellaan viiden kriteerin kautta, joita vastaavat kriteeritasot on saatu asiantuntija-arvioista.

Työssä tarkastellaan seuraavia menetelmiä sekä niitä hyödyntäviä ohjelmistoja: SWING ja Web-HIPRE, PRIME ja PRIME Decisions, Even Swaps ja Smart-Swaps sekä PROMETHEE I & II ja Visual PROMETHEE. Työssä tehtyjen vertailujen perusteella havaitaan, että nämä menetelmät tuottavat keskenään samankaltaisia tuloksia suositeltavan toimintavaihtoehdon valitsemiseksi, mutta epätäydellisen preferenssi-informaation käyttömahdollisuuden todetaan vaikuttavan tuloksiin, ja tuottavan päätöksenteon tuen kannalta oleellista lisäinformaatiota.

Suurimmat eroavaisuudet tutkittujen menetelmien välillä liittyvät niiden vaatimaan preferenssi-informaatioon sekä tämän mahdolliseen epätäydellisyyteen ja menetelmän tuottamien tulosten muotoon. Menetelmästä riippuen on mahdollista saada paremmuusjärjestys kaikille päätösvaihtoehdoille, tai vain yksi päätössuositus. Tutkittujen menetelmien välille voidaan myös tehdä eroja tutkittavan päätöksentekotilanteen koon kasvaessa, sillä tämä vaikuttaa niin ohjelmistojen yleiskäytettävyyteen kuin laskentatehokkuuteenkin.

Avainsanat: päätöksenteko, epätäydellinen preferenssi-informaatio, vertailu, sotilasoperaatio, MAVT, outranking, Web-HIPRE, SWING, PRIME, PRIME Decisions, Even Swaps, Smart-Swaps, PROMETHEE I, PROMETHEE II, Visual PROMETHEE

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
2. Aikaisempi tutkimus ja teoreettinen tausta	2
2.1. MAVT - Monitavoitteinen arvoteoria.....	3
2.2. Outranking -menetelmät	5
3. Tutkittava päätösongelma	5
3.1. Päätösvaihtoehdot	6
3.2. Kriteerit	6
3.3. Seuraukset	6
3.4. Preferenssit.....	7
4. Tutkimusmenetelmät.....	7
4.1. SWING.....	7
4.2. PRIME	8
4.2.1. Preferenssien määrittäminen	8
4.2.2. Lopullisen päätösvaihtoehdon valinta - preferenssisynteesi	9
4.3. Even swaps ja preferenssiohjelmointi – Smart-swaps	10
4.4. PROMETHEE I & II.....	11
5. Tutkimusohjelmistot	13
5.1. Web-HIPRE	13
5.2. PRIME Decisions.....	15
5.3. Smart-Swaps	17
5.4. Visual PROMETHEE	19
6. Tulokset.....	21
6.1. Web-HIPRE	21
6.2. PRIME Decisions.....	22
6.3. Smart-Swaps	22
6.4. Visual PROMETHEE	22
7. Tarkastelu ja johtopäätökset.....	23
7.1. Tulosten tarkastelua	23
7.2. Menetelmien vertailua.....	23
7.2.1. Yleisiä havaintoja ohjelmistoista ja niiden käyttöliittymistä	23
7.2.2. Preferenssi-informaation soveltaminen.....	24

7.2.3. Menetelmän tuottamat tulokset.....	26
7.2.4. Menetelmän laskennalliset ominaisuudet	27
7.2.5. Menetelmän käytettävyys ja ymmärrettävyys päätöksentekijän näkökulmasta	28
8. Yhteenveto	29
Lähteet.....	31
Liitteet	33

Symboli- ja lyhenneluettelo

AHP – Analytical hierarchy process (analyttinen hierarkiaprosessi)

$\Phi(x)$ – PROMETHEE II, kokonaisvirtaus

$\Phi^+(x)$ – PROMETHEE I, positiivinen outranking-virtaus

$\Phi^-(x)$ – PROMETHEE I, negatiivinen outranking-virtaus

MAVT – Multi Attribute Value Theory (monitavoitteinen arvoteoria)

MCDA – Multi Criteria Decision Analysis (monitavoitteinen päätösanalyysi)

MCDSS – Multi Criteria Decision Support Systems (monikriteerisen päätöksenteon tukijärjestelmät)

n – Kriteerien kokonaismäärä

$P_j(x,y)$ – Preferenssifunktio PROMETHEE-menetelmille vaihtoehtojen x ja y välillä

PLV – Possible Loss of Value

PRIME – Preference Ratios in Multi Attribute Evaluation

PrOACT – Problem, Objectives, Alternatives, Consequences, Trade-offs

PROMETHEE – Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations

$v_i(x_i)$ – Kriteerin i arvo vaihtoehdolle x_i

$v_i^N(x_i)$ – Kriteerin i normeerattu arvo vaihtoehdolle x_i

$V(x)$ – Päätösvaihtoehdon x kokonaisarvo

w_i – Kriteerin i painoarvo additiivisessa arvofunktiossa

Web-HIPRE – Hierarchical Preference analysis on the World Wide Web

x – Päätösvaihtoehto (toimintavaihtoehto)

x^j – Päätösvaihtoehto (toimintavaihtoehto) j

x_i – Kriteerin i taso vaihtoehdolle x

x_i^0 – Kriteerin i huonoin mahdollinen taso vaihtoehdolle x

x_i^* – Kriteerin i paras mahdollinen taso vaihtoehdolle x

1. Johdanto

Niin yhteiskunnallisesti kuin yksilönkin kannalta monet tilanteet vaativat päätöksiä, joiden tavoitteena on löytää mahdollisimman suotuisa päätösvaihtoehto. Lopputuloksen hyvyys riippuu kuitenkin useista tekijöistä, kriteereistä, joiden suhteen päätöksentekijällä on omat mieltymyksensä eli preferenssinsä. Päätöksentekoprosessi ei välttämättä ole helppo, mutta sen tukena voidaan kuitenkin käyttää hyvin jäsenneiltyjä päätösanalyttisiä matemaattisia menetelmiä ja ohjelmistoja. Näitä voidaan soveltaa hyvin erilaisissa käytännön tilanteissa, kuten vaikkapa investointipäätöksissä pankkimailmassa, terveydenhuollossa, tai tuotantopaikan valinnassa [Brans & Mareschal, 2005].

Onnistuneen päätöksenteon edellytys on, että päätöksentekijä kykenee ensin jäsentelemään tarkastelevan tilanteensa osa-alueittain: Minkälaista kysymystä ollaan ratkomassa? Mitkä ovat mahdolliset toimintavaihtoehdot? Mitä ominaisuuksia, mitattavissa olevia kriteereitä, näihin vaihtoehtoihin liittyy ja miten nämä tulisi arvottaa suhteessa toisiinsa? Tyypillisesti päätöksentekoprosessin yksittäiset komponentit ovat melko selvästi hahmotettavissa, mutta käytännön tilanteen matemaattinen mallintaminen päätösanalyttisenä kokonaisuutena voi viedä paljonkin aikaa ja toisinaan jo tilanteen rajauksesta voi syntyä merkittäviä ongelmia [Brans & Mareschal, 2005].

Yleisesti monitavoitteisen päätöksenteon vaikeus syntyy siitä, kun mikään toimintavaihtoehto ei ole selvästi muita parempi, koska eri kriteereillä mitattuna eri vaihtoehdot suoriutuvat parhaiten. Tällaisissa tilanteissa ratkaisu on haettava siten, että vaihtoehtoja tarkastellaan päätöksentekijän eri kriteereihin kohdistuvien preferenssien perusteella. Subjekttiivisen näkökulman tuominen lisää epävarmuutta päätöksentekoprosessin lopputulokseen: aina ei ole aukotonta, onko päätöksentekijän mahdollista päättää tarkasti omia preferenssejään, osaako hän edes ilmaista niitä päätösanalyysissä käytettävän menetelmän vaatimalla tavalla ja johtaako päätösketju näin ollen lainkaan päätöksentekijälle mieluiseseen lopputulokseen. Haastavuutensa vuoksi päätöksenteon tueksi on kehitetty useita epätäydellisen preferenssi-informaation huomioon ottavia menetelmiä, jotka kompensoivat päätöksentekijän preferensseihin liittyvää epävarmuutta.

Tämän työn tarkoituksena on vertailla sekä tarkastella epätäydellisen preferenssit huomioon ottavia päätöksenteon tukimenetelmiä, joista kolme kuuluu monitavoitteisen arvoteorian ja yksi outranking – menetelmien luokkaan. Päätöksentekoon ei tässä työssä liity epävarmuutta, eli kaikkien päätösvaihtoehtojen lopputulokset ovat varmoja. Vertailu toteutetaan kyseisiä menetelmiä hyödyntävien ohjelmistojen avulla, jolloin työn painopiste pidetään menetelmien käytännön soveltamisessa sen sijaan, että keskityttäisiin tarkastelemaan niiden teoreettisia ominaisuuksia. Menetelmien todellinen hyöty saadaan irti vasta, kun päätöksentekijä pystyy todella käyttämään sitä jonkin ohjelmiston kautta, johon se on implementoitu. Työn tavoitteena on saada käsitys tutkittavien menetelmien käytettävyydestä, vaatimuksista sekä tuloksista suhteessa toisiinsa. Työn johtavana kysymyksenä on: Saavutetaanko epätäydellisen preferenssi-informaation sallimisella helpompikäyttöisempiä ohjelmistoja ja menetelmiä, joiden tulokset olisivat luotettavampia tai varmemmin päätöksentekijän preferenssien mukaisia?

Työlle asetettuihin tavoitteisiin pyritään vastaamaan vertailemalla ja analysoimalla siihen valittuja menetelmiä sekä näitä soveltavia ohjelmistoja käytännön monitavoitteisen päätöksenteko-ongelman kautta. Työn rakenne on seuraava: Luvussa 2 esitellään aihealueeseen liittyvä teoria, jonka jälkeen luku 3 perehtyy työssä tutkittavaan tutkimustilanteeseen. Luvussa 4 esitellään käytettävät päätöksentekomenetelmät ja luvussa 5 näihin liittyvät ohjelmistot. Luvussa 6 esitetään esimerkkitalanteesta päätöksentekomenetelmillä saadut tulokset, jonka jälkeen luvussa 7 vertaillaan eri päätöksentekomenetelmillä saatuja tuloksia sekä menetelmien käytettävyyttä. Luku 8 sisältää yhteenvedon.

2. Aikaisempi tutkimus ja teoreettinen tausta

Päätösanalyysin historia alkaa 1940-luvun lopulta von Neumannin ja Morgensternin kehittämistä aksioomista, jotka määrittelevät periaatteet, joiden mukaan päätöksentekijän tulisi toimia [Keeyney, 1982]. Päätöksenteon tueksi on aina 1960-luvulta alkaen kehitetty useita matemaattiseen mallintamiseen perustuvia menetelmiä sekä näitä edelleen hyödyntäviä päätöksenteko-ohjelmistoja [Roy, 2005]. Niiden tavoitteena on tehdä päätöksentekoprosessista mahdollisimman strukturoitu, sekä helpottaa päätöksentekijää löytämään häntä tyydyttävä ratkaisu, jotta lopullinen tulos olisi mahdollisimman perusteltu. Tarkasteltaessa tilanteita, joihin liittyy useiden vaihtoehtojen lisäksi lukuisia kriteereitä, menetelmävaihtoehdot voidaan jakaa useisiin eri luokkiin. Tässä työssä näistä tarkastellaan monitavoitteista arvoteoriaa (Multiattribute Value Theory, MAVT) sekä outranking-menetelmiä. Muita, eri oletuksiin pohjautuvia menetelmäluokkia ovat esimerkiksi analyttinen hierarkiaproessi (Analytic Hierarchy Process, AHP) sekä niin kutsutut sumeat joukot [Stewart, 1992]. Lisäksi on olemassa päätöksenteon tukimenetelmiä joita voidaan käyttää kun päätösvaihtoehdon valitsemisesta saatava lopputulos ei ole varma, kuten esimerkiksi päätöspuut ja vaikutuskaaviot [Clemen, 1996].

Monitavoitteinen päätösanalyysi (Multi Criteria Decision Analysis, MCDA) on strukturoitu lähestymistapa useita vaihtoehtoja ja kriteereitä sisältävien päätöksentekotilanteiden järjestelmälliseen ratkaisemiseen, joka pyrkii huomioimaan kaikki lopputuloksen kannalta oleelliset tekijät. Tällainen päätöksentekotilanne voi esimerkiksi olla sopivan toimistotilan valinta, kun valintaan vaikuttavia kriteereitä ovat toimiston koko, sijainti ja vuokra. Tällöin kriteereille määritetään myös niin kutsutut kriteeritasot, eli kriteerien arvot: esimerkiksi 50m², 5 km keskustasta ja 800€/kk. MCDA-ongelmia ei kuitenkaan voida tarkastella ilman tietoa päätöksentekijän preferensseistä, sillä absoluuttisesti parasta vaihtoehtoa ei yleensä ole, vaan valittu ratkaisu riippuu aina päätöksentekijästä [Brans & Mareschal, 2005].

Tällaisten ongelmien tueksi on kehitetty useita interaktiivisia monikriteerisen päätöksenteon tukiohjelmistoja (Multi Criteria Decision Support Systems, MCDSS), joiden tarkoituksena on auttaa hahmottamaan ja jäsentämään ongelma, selvittämään (mahdollisesti epätäydelliset) preferenssit, haarukoimaan sopivia ratkaisuehdotuksia sekä analysoimaan tuloksia ja siihen johtanutta päättelyketjua. Kaikki menetelmät alkavat samalla tapaa lähtötilanteen rakentamisesta (vaihtoehdot sekä valitut kriteerit tasoineen), mutta menetelmien jatko vaihtelee sen mukaan miten ne vaativat päätöksentekijää esittämään preferenssinsä [Brans & Mareschal, 2005].

MCDA-menetelmiä sekä MCDSS-ohjelmistoja hyödyntämällä päätöksentekijä voi keskittyä itse valittavan päätösvaihtoehdon löytämiseen sen sijaan, että hänen tarvitsisi huolehtia matemaattisista tai teknisistä päätösanalyysin yksityiskohdista [Mustajoki & Hämäläinen, 2007]. Lisäksi nykuteknologia mahdollistaa jo vaativaakin laskennallista kapasiteettia tarvitsevien ongelmien ratkomisen, sekä kykenee visualisoimaan ne kokonaistilanteen hahmottamista helpottavalla tavalla. Tällöin päätöksentekijän kykenee ratkomaan päätöstilanteita, joiden läpivieminen ilman vastaavia ohjelmistoja olisi hidasta tai jopa kannattamatonta. Myös Internetin yleistyminen tarjoaa hyviä mahdollisuuksia MCDSS-ohjelmistojen käyttöön, kun päätösanalyysiä voi tehdä etätöyönä mistä tahansa, sekä jopa monen henkilön yhteistyönä - ryhmäpätöksentekona.

Preferenssi-informaation epätäydellisyys tarkoittaa tässä työssä sitä, ettei päätösanalyttisessä menetelmässä käytettävän preferenssi-informaation oleteta vastaavan täysin päätöksentekijän todellisia preferenssejä. Syynä tälle voi olla se, että päätöksentekijä ei joko varsinaisesti tiedä omia preferenssejään tai osaa ilmaista niitä menetelmän vaatimalla tavalla. Tällaiseen erilaisia epätäydelliseen informaatioon perustuvia MCDA-menetelmiä on tähän mennessä tutkittu teoreettisesti paljon, mutta sovellettu kuitenkin vasta verrattain vähän käytännön tilanteisiin. Täten saatavilla on vasta melko vähän tietoa siitä, miten eri menetelmät toimivat tosi-elämän päätöksentekotilanteissa [Mustajoki & Hämäläinen, 2007]. On ehdotettu muun muassa, että tämä on johtunut hyvien sovellusten puutteesta tai siitä, ettei niitä ole onnistuneesti kyetty implementoimaan päätöksentekijöiden käyttöön [Gustafsson & Salo & Gustafsson, 2001]. Tämän työn tavoitteena onkin tutkia sekä sovellusten käytettävyyttä sekä niiden soveltumista epätäydellistä preferenssi-informaatiota sisältävän päätöksentekotilanteen ratkomiseen.

2.1. MAVT - Monitavoitteinen arvoteoria

MAVT (Multiattribute Value Theory) eli monitavoitteinen arvoteoria [Keeney & Raiffa, 1976] on laajalti päätösanalyysin perustana käytetty teoria, jolla voidaan tarkastella useista kriteereistä koostuvia monitavoitteisia päätöksenteko-ongelmia. Se perustuu oletukseen, että tutkittava päätösongelma voidaan konstruoida joukkona, joka koostuu

1. päätösvaihtoehdoista x , sekä
2. kriteereistä i , joiden suhteen päätösvaihtoehtojen kriteeritasot x_i voidaan määrittää

Vaihtoehto x on vektori muotoa

$$x = (x_1, \dots, x_n).$$

Jos vaihtoehdot ovat keskenään preferenssiriippumattomia, eli kriteerit eivät vaikuta toisiin kriteereihin liittyviin preferensseihin, niin käyttöön voidaan perustellusti ottaa additiivinen arvofunktiio [Keeney & Raiffa, 1976], joka määrittelee päätösvaihtoehdon x ”hyvyyden”, eli kokonaisarvon $V(x)$ summana tämän kriteerikohtaisista arvoista $v_i(x_i)$. Tällä menetelmällä vaihtoehdon x kokonaisarvoksi saadaan

$$V(x) = \sum_{i=1}^n v_i(x_i), \quad (1)$$

missä x_i on vaihtoehdon x taso kriteerin i suhteen, v_i on päätöksentekijän preferenssejä kuvaava arvofunktiio kriteerin i suhteen, jolloin $v_i(x_i)$ kuvaa päätöksentekijän arvostusta tälle kriteeritasolle skaalattuna ja n on kriteerien kokonaislukumäärä. Arvotuksia $v_i(x_i)$ kutsutaan usein myös scoreksi, eli pistemääräksi, jonka tietty kriteeritaso saa.

Voidaan osoittaa, että kaavan (1) avulla määritellyt vaihtoehtojen väliset preferenssit säilyvät samanlaisina vaikka funktiolle $V(x)$ tehdään positiivinen affiini muunnos. Tämän vuoksi arvofunktiot v_i valitaan tyypillisesti siten, että kriteerin i huonoin taso saa arvon 0 ja paras taso saa arvon 1, eli $v_i(x_i^0) = 0$ ja $v_i(x_i^*) = 1$. Lisäksi kaavan (1) arvofunktiio kirjoitetaan usein painotettuna summana, jossa suhteellisia tärkeyksiä kuvaavat kriteeripainot w_i ovat normeerattuja, eli niiden summa on yksi:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad (2)$$

Ymmärtääkseen kriteeripainoja ja varmistaakseen, että ne tulevat määritetyksi mahdollisimman todenmukaisesti, päätöksentekijän tulee tulkita painokerroin w_i siten, että se kuvaa sitä muutosta vaihtoehdon x kokonaisarvossa $V(x)$, kun kriteeri x_i muuttuu huonoimmalta tasoltaan x_i^0 parhaimmalle tasolle x_i^* :

$$V(x) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(x_i) = \sum_{i=1}^n [v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)] \frac{[v_i(x_i) - v_i(x_i^0)]}{[v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)]} = \sum_{i=1}^n w_i v_i^N(x_i). \quad (3)$$

Näin ollen kaavassa (3) esitetyt painokertoimet $w_i = v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)$ ja normalisoidut arvofunktiot $v_i^N(x_i)$ on määritelty

$$v_i^N(x_i) = \frac{v_i(x_i) - v_i(x_i^0)}{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)}. \quad (4)$$

Koska additiivinen arvofunktiio on kriteeripainoin w_i painotettu summa scoreista $v_i^N(x_i)$, sen käyttö vaatii painokertoimien määrittämisen, jotka kuvaavat kriteerien suhteellista tärkeyttä keskenään päätöksentekijän preferenssien mukaisesti. Niiden määrittäminen ei kuitenkaan välttämättä ole yksinkertaista, koska päätöksentekijän voi olla vaikeaa ilmaista omia preferenssejään numeerisessa muodossa, tai jopa selvittää itselleen, missä suhteessa hän arvottaa eri kriteerejä.

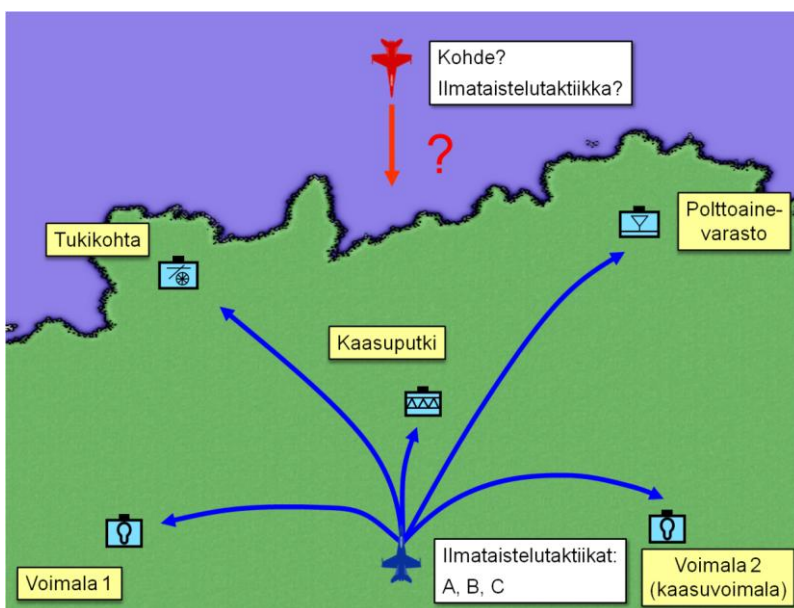
Lisäksi additiivisen arvofunktion käyttöä varten tulee myös määrittää, mitä muotoa päätöksentekijän arvofunktiot v_i^N ovat, eli minkälaisia preferenssejä päätöksentekijällä kriteerin i itsensä suhteen on. Päätöksentekijä voi ilmaista preferenssinsä joko suoraan lukuarvoina v_i^N ilman kannanottoa arvofunktion muodosta, tai pyrkiä muodostamaan se kriteeritason funktiona $v_i^N(x_i)$, mikä on kuitenkin päätöksentekijän kannalta jo matemaattisesti merkittävästi monimutkaisempi lähestymistapa. Monitavoitteisella arvoteorialla kullekin vaihtoehdolle x voidaan siis määrittää additiivista arvofunktiota (1) tai (3) käyttäen kokonaisarvo $V(x)$, joita vertailemalla löydetään valituksi tuleva toimintastrategia, eli maksimaalisen pistemäärän saava päätösvaihtoehto.

2.2. Outranking -menetelmät

Outranking menetelmät eroavat edellä esitellystä monitavoitteisesta arvoteoriasta siten, että niissä päätöksentekijän ei oleteta muodostavan arvofunktiota, vaan päätösanalyysi toteutetaan pareittaisen vertailun kautta. Tähän luokkaan kuuluvat menetelmät perustuvat niin kutsuttuun pareittaiseen ”outranking” – vertailuun, jossa vaihtoehto x määritellään toista vaihtoehtoa mielekkäämmäksi, epämielikkäämmäksi tai vertailukelvottomaksi. Ideana on, että tämänkaltaisten relaatioiden avulla pystytään poissulkemaan joitakin toimintavaihtoehtoja, kun parivertailuja yhdistellään ja tilannetta tarkastellaan kokonaisuutena [Brans & Mareschal, 2005]. Outranking-luokkaan kuuluvat mm. PROMETHEE I-VI -menetelmät (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation), kuten myös visuaalinen GAIA-menetelmä (Geometrical Analysis for Interactive Aid) sekä ELECTRE-menetelmät (ELimination and Choice Expressing REality) [Brans & Mareschal, 2005].

3. Tutkittava päätösongelma

Tässä työssä päätöksenteon tukimenetelmiä vertaillaan sotilaallisen päätöksentekotehtävän avulla, jossa on kaksi osapuolta: sininen ja punainen. Kyseessä on yksinkertaistettu versio päätösongelmasta, joka on laajemmin esitetty Pousin diplomityössä [Pousi, 2009]. Sininen edustaa asetelman päätöksentekijää, jonka tulisi suojata omia maakohteitaan punaisen osapuolen ilmasta-maahanhyökkäykseltä siten, että näihin kohdistuvat vahingot minimoituisivat. Sininen ei tiedä varmasti, mihin kohteeseen punainen ilmasta-maahanhyökkäyksensä suorittaa. Sininen ei myöskään tiedä varmasti, mitä ilmataistelutaktiikkaa punainen tulee hyökkäyksessään käyttämään. Tilanteen graafinen esitys on esitetty kuvassa 1. Sinisen osapuolen tulee siis ratkaista monitavoitteinen päätöksenteko-ongelma, jossa sen tulee päättää ensinnäkin omien torjuntahävittäjien sijainnit sekä toiseksi käytettävä ilmataistelutaktiikka. Asetelman monitavoitteisuus seuraa siitä, että kunkin toimintavaihtoehdon seurauksia arvioidaan usean kriteerin avulla.



Kuva 1: Havainnollistava esitys tutkittavasta päätöksentekotilanteesta: Sininen puoli ei tiedä punaisen puolen ilmasta-maahanhyökkäyksen kohdetta tai ilmataistelutaktiikkaa. Sinisen puolen on kuitenkin valittava puolustettava kohde sekä oma ilmataistelutaktiikkansa. Karttapohjalla on esitetty sinisen puolen puolustettavat kohteet, jotka ovat myös punaisen puolen mahdollisia kohteita.

3.1. Päätösvaihtoehdot

Päätöksentekijän, eli sinisen osapuolen, tulee päättää mitä kohteita suojataan sekä mitä ilmataistelutaktiikkaa torjuntahävittäjät käyttävät.

Suojattavaksi kohteeksi valittavat vaihtoehdot ovat:

1. Voimala 1
2. Voimala 2 (kaasuvoimala)
3. Kaasuputki
4. Polttoainevarasto
5. Tukikohta

Lisäksi voidaan valita kolmesta ilmataistelutaktiikasta, joita merkitään kirjaimin A, B ja C. Näin ollen viittä suojausvaihtoehtoa ja kolmea ilmataistelutaktiikkaa yhdistelemällä on mahdollista konstruoida $5 \times 3 = 15$ erilaista päätöskombinaatiota, esimerkiksi yhdistelmä voimala 1 (päätos 1) sekä ilmataistelutaktiikka C (päätos 2), joista päätöksentekijä voi valita yhden 15:sta kombinaatiosta. Lopullista valintaa kutsutaan toimintavaihtoehdoksi.

3.2. Kriteerit

Kriteerit, joiden perusteella kunkin toimintavaihtoehdon valitsemisesta seuraavia lopputuloksia mitataan, ovat

1. Punaisen tappiot (0-4 konetta)
2. Sinisen jäljellä olevat koneet (0-4 konetta)
3. Sähköntuotannon toimintakyky (luku välillä 0-1)
4. Polttoainevaraston toimintakyky (luku välillä 0-1)
5. Tukikohdan toimintakyky (luku välillä 0-1)

Päätöksentekijä haluaa siis maksimoida kaikkien edellä esiteltyjen kriteerien arvoa: mitä suurempi luku, sen parempi tilanne sinisen osapuolen kannalta.

3.3. Seuraukset

Eri päätösten seuraukset, eli päätösanalyysissä käytettävät kriteeritasot löytyvät liitteestä 1.

Kriteeritasot on saatu asiantuntija-arvioiden kautta. Kohteiden vaurioitumisiin liittyviä asiantuntija-arvioita annettaessa on oletettu, että tiettyyn osa-alueeseen kohdistuvan vahingon suuruus on deterministinen, eli että siihen ei liity todennäköisyyksiä, mikäli kohde saa osuman. Lisäksi tiettyyn kohteeseen saatu osuma voi vaikuttaa myös muiden kohteiden toimintakykyyn. Esimerkiksi jos voimalaitos saa osuman, myös tukikohta voi kärsiä tästä merkittäviä vahinkoja, koska sen toiminnot vaativat sähköä.

Ilmataistelun lopputuloksiin liittyvissä arvioissa on oletettu, että sinisen puolen tulee valita käytettävä ilmataistelutaktiikka ennen punaisen puolen hyökkäystä. Koska sininen ei tiedä varmasti minkä kohteen punainen valitsee ilmasta-maahan hyökkäykselleen, vaikuttaa suojattavaksi valittu kohde myös ilmataistelun alkutilanteeseen ja sitä kautta myös ilmataistelun lopputulokseen.

3.4. Preferenssit

Tutkimustilanteessa käytettävät päätöksentekijän preferenssit on valittu siten, että ne kuvaavat kirjoittajan näkökulmasta mielekkäitä preferenssejä. Ohjelmistoja käytettäessä, eli preferenssejä sovellettaessa on lisäksi pyritty huomioimaan, ettei tutkittavien menetelmien välille synny ristiriitaisuuksia preferenssi-informaation suhteen. Tällaisen johdonmukaisuuden avulla varmistetaan, että saatavat tulokset ovat myös vertailukelpoisia keskenään. Lisäksi preferensseihin on pyritty tuomaan vaihtelevuutta siten, että kaikkia tutkittavia kriteereitä ei arvosteta yhtä paljon, eli valitsemalla kriteeripainot riittävän suurella skaalalla.

Kriteerien välisessä preferenssi-informaatiossa lähtökohtana on pidetty sitä, että tukikohdan toimintakyky on päätöksentekijälle tärkein kriteeri. Tämän jälkeen tärkeysjärjestyksessä seuraavat kriteerit ovat sähköntuotanto ja sinisten jäljellä olevat koneet, jotka ovat keskenään likimain yhtä tärkeitä. Vähiten tärkeitä kriteerejä ovat polttoainevaraston toimintakyky ja punaisten tappiot, jotka ovat myös keskenään lähes yhtä tärkeitä. Kriteerikohtaisesti sen sijaan ajatellaan, että päätöksentekijän arvofunktiot ovat likimain lineaarisia siten, että kutakin kriteeriä halutaan maksimoida: mitä suuremman arvon kriteeri saa, sitä parempi tilanne päätöksentekijän mielestä on, mutta suhteelliset muutokset kaikissa kohdissa ovat hänelle yhtä tärkeitä.

Kuten preferenssejä, myös niiden epätäydellisyyttä pyritään kunkin menetelmän kohdalla ilmaisemaan konsistentisti, vaikka soveltamistavat menetelmittäin vaihtelevatkin. Myös tällöin edellä kuvattu kriteeritärkeys pidetään siis preferenssi-informaation pohjana. Preferenssien suhteen tehdyt oletukset eivät vaikuta työn yleispätevyyteen, sillä preferenssit riippuvat aina päätöksentekijästä itsestään ja ovat aina kullekin päätöksentekotilanteelle ominaisia. Jäljempänä tehtävät päätelmät menetelmien yleisestä käytettävyydestä sen sijaan eivät ota kantaa päätöksentekijän preferensseihin, vaan ainoastaan yleisiin seikkoihin, kuten esimerkiksi siihen miten hyvin päätöksentekijän preferensseihin liittyvä epätäydellisyys kyseisellä menetelmällä voidaan huomioida.

4. Tutkimusmenetelmät

Tähän työhön on valittu tutkittaviksi seuraavat neljä päätöksenteon tukimenetelmää: SWING, PRIME, even swaps sekä PROMETHEE-menetelmän versiot I & II. Näistä kolme viimeisintä mahdollistavat epätäydellisen preferenssi-informaation käyttämisen, mikä tarkoittaa että SWING-menetelmän luonne työn kannalta on toimia näiden vertailukohtana. Menetelmät on valittu siten, että niitä tarkastelemalla ja vertailemalla saadaan mahdollisimman kattavia ja helposti hyödynnettäviä tuloksia työn tarkoituksiperiin nähden. Tässä osiossa esitellään lyhyesti menetelmien keskeisimmät piirteet sekä teoreettiset taustat. Kolme ensimmäistä, eli SWING, PRIME ja Even Swaps, perustuvat monitavoitteiseen arvoteoriaan (MAVT), ja viimeiseksi esiteltävä PROMETHEE-menetelmä lukeutuvat outranking-menetelmien luokkaan.

4.1. SWING

SWING-menetelmän perustana on kaavassa (3) esitetty monitavoitteisen arvoteorian additiivinen arvofunktiot, jossa kriteeripainot määritetään kriteerien parhaimman ja huonoimman tason kautta [von Winterfeldt & Edwards, 1986]. Päätöksentekijä asettaa tärkeimmälle kriteerille 100 pistettä ja

lopun pisteytetään suhteessa tähän välille 0-100 sen mukaisesti, kuinka tärkeinä päätöksentekijä ne kappaleessa 2.1. esitetyn painojen tulkinnan valossa kokee. Lopulta painot normeerataan siten, että kaavassa (2) esitetty ehto toteutuu, eli että niiden summa on yksi. Menetelmää käytettäessä kriteeritasoihin liittyvät arvot tulee määrittellä joko arvofunktioiden $v_i(x_i)$ tai suorien score-pistemäärien v_i avulla. Se vaihtoehto, jolle additiivinen arvofunktio (3) antaa suurimman kokonaisarvon, tulee valituksi.

Menetelmässä oletetaan, että päätöksentekijä osaa antaa täsmälliset painoarvot, mikä tarkoittaa että menetelmä ei ota huomioon epätäydellistä preferenssi-informaatiota. Kyseistä menetelmää käytetäänkin tässä työssä perustilanteena, johon muita monimutkaisempia menetelmiä verrataan.

4.2. PRIME

Kuten SWING, myös PRIME-menetelmä (Preference Ratios in Multiattribute Evaluation) perustuu monitavoitteiseen arvoteoriaan sekä oletukseen päätöksentekijän preferenssien additiivisuudesta (1). Menetelmä huomioi päätöksentekijän epätäydellisen preferenssi-informaation sekä arvofunktioiden että painojen suhteen [Salo & Hämäläinen, 2001]. Päätöksentekijän ei näin ollen tarvitse ilmaista täsmällisiä preferenssejään, vaan riittää että hän kykenee määrittämään jonkin välin, johon ne suhteessa toisiinsa kuuluvat. Päätöksentekijä voi esimerkiksi määrittellä välit kaavan (3) painokertoimille. Valittu päätösvaihtoehto määritetään ratkaisemalla joukko lineaarisia optimointitehtäviä (LP-tehtäviä), joissa päätöksentekijän antamat välit arvofunktiolle sekä painoille toimivat rajoituksina.

4.2.1. Preferenssien määrittäminen

PRIME-menetelmässä preferenssien määrittäminen koostuu kahdesta vaiheesta: päätöksentekijän preferenssien mukaisen scoren $v_i(x_i)$ sekä kriteerejä vastaavien kriteeripainojen w_i hakemisesta. Näistä ensimmäinen saadaan seuraavien vaiheiden avulla:

1. huonoimman ja parhaimman kriteeritason (x_i^0 ja x_i^*) identifiointi
2. muiden kriteeritasojen saattaminen ordinaaliseen järjestykseen
3. mahdollisesti intervalliarvoisten score-erotuksien estimaattien elisointi

Edellä esiteltyjen vaiheiden seurauksena, päädytään muotoa

$$L \leq \frac{v_i(x_i^j) - v_i(x_i^0)}{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)} \leq U \quad (5)$$

oleviin rajoituksiin, jossa U ja L kuvaavat erotuksien suhdeluvun ylä- ja alarajoja, indeksi i kriteeriä ja indeksi j mielivaltaista tasoa parhaimman ja huonoimman tason välillä [Gustafsson, Salo & Gustafsson, 2001].

PRIME-menetelmässä voidaan käyttää myös kriteeripainoja kaavan (5) mukaisten intervallien muodostamiseen. Kriteeripainojen määrittämiseen voidaan PRIME:n yhteydessä käyttää useita vaihtoehtoisia menetelmiä. Tässä työssä PRIME:n käyttöä tutkitaan PRIME Decisions – ohjelmiston avulla, jossa kriteeripainojen määrittäminen tapahtuu edellä esitellyn SWING-menetelmän laajennetun version mukaisesti [Gustafsson, Salo & Gustafsson, 2001]. Tämä tarkoittaa, että kuten SWING-menetelmässä tässäkin päätöksentekijä asettaa tärkeimmälle kriteerille 100

pistettä. Hänen ei kuitenkaan tarvitse pisteyttää muita kriteerejä täsmällisin painoarvoin suhteessa sadan pisteen referenssikriteeriin, vaan riittää määrittää millä välillä muiden kriteerien painoarvot suhteessa tärkeimpään voivat liikkua. Esimerkiksi, jos kriteeri 1 saa 100 pistettä, kriteeri 2 voidaan pisteyttää saamaan 60–70 pistettä. Lopulta päädytään seuraavanlaisiin ylä- ja alarajojen U ja L rajaamiin kriteeripainojen suhdelukujen intervallimuotoisiin ehtoihin

$$\frac{L}{100} \leq \frac{w_i}{w_{ref}} \leq \frac{U}{100}, \quad (6)$$

missä w_{ref} kuvaa referenssikriteerin, eli tärkeimmän kriteerin painoarvoa, johon muita painoja yhtälössä (6) verrataan. Kaavan (6) ja tulkinnan (3) perusteella päädytään epäyhtälöpariin

$$\frac{L}{100} \leq \frac{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)}{v_{ref}(x_{ref}^*) - v_{ref}(x_{ref}^0)} \leq \frac{U}{100}, \quad (7)$$

jossa $v_{ref}(x_{ref}^*)$ vastaa referenssikriteerin parhaimman tason arvoa, ja $v_{ref}(x_{ref}^0)$ vastaa referenssikriteerin huonoimman tason arvoa.

Täten saatujen relaatioiden avulla voidaan määrittää ne välit, joilla toimintavaihtoehtojen kokonaisarvot sekä kriteeripainot päätöksentekijän preferenssien mukaisesti voivat liikkua:

$$V(x) \in \left[\min \sum_{i=1}^N v_i(x_i), \max \sum_{i=1}^N v_i(x_i) \right], \quad (8)$$

$$w_i \in [\min v_i(x_i^*), \max v_i(x_i^*)]. \quad (9)$$

4.2.2. Lopullisen päätösvaihtoehdon valinta - preferenssisynteesi

Edellä esiteltyjen vaiheiden jälkeen ei ole vielä selvää, mikä mahdollisista toimintavaihtoehdoista olisi paras, sillä niiden arvot $V(x)$ eivät ole yksittäisiä lukuja, vaan vaihtelevat epätäydellisen preferenssi-informaation mukaisesti kaavojen (8) ja (9) esittämällä tavalla. PRIME tarjoaa päätöksenteon tueksi kaksi dominanssirakennetta: absoluuttisen dominanssin sekä paridominanssin jotka ilmaisevat vaihtoehdon ylivertaisuuden toiseen vaihtoehtoon nähden, sekä tämän jälkeen useita niin kutsuttuja päätöksentekosääntöjä, joilla lopullinen valinta voidaan tehdä.

Nimensä mukaisesti mukaisesti vaihtoehto x^j dominoi absoluuttisesti vaihtoehtoa x^k , mikäli x^j :n huonoin kokonaisarvo on aina x^k :n parasta kokonaisarvoa suurempi. Vastaavasti, jos x^j :n kokonaisarvo on kaikilla käyvillä scoreilla x^k :ta suurempi, vaihtoehto x^j dominoi x^k :ta pareittaisessa mielessä, jolloin pätee

$$\max(V(x^k) - V(x^j)) < 0. \quad (10)$$

Mikäli (10) ei päde, voidaan ottaa käyttöön suurimman mahdollisen arvomenetyksen antava PLV (Greatest Possible Loss of Value) (11), joka kertoo suurimman tappion joka voidaan saada valitessa vaihtoehto x^k vaihtoehdon x^j :n sijaan

$$PLV(k) = \max \left\{ \max \left[\sum_{i=1}^N v_i(x_i^j) - \sum_{i=1}^N v_i(x_i^k) \right] \right\}. \quad (11)$$

Dominanssirakenteiden määrittämisen jälkeenkään ei yleensä vielä ole varmistuttu minkään toimintavaihtoehdon ylivertauudesta suhteessa kaikkiin muihin mahdollisiin vaihtoehtoihin. Tällöin on otettava käyttöön PRIME:n niin kutsutut päätössäännöt, joita on kaiken kaikkiaan neljä kappaletta: 1) maximax: valitaan vaihtoehto jonka paras kokonaisarvo on suurin, 2) maximin: valitaan vaihtoehto, jonka huonoin kokonaisarvo on suurin, 3) minimax regret: valitaan vaihtoehto, jolle PLV (11) on pienin sekä 4) central values: valitaan vaihtoehto, jolle kokonaisarvovälin keskipiste on suurin.

4.3. Even Swaps ja preferenssiohjelmointi – Smart-Swaps

SWING- ja PRIME-menetelmien tapaan Even Swaps -menetelmän pohjana on monitavoitteinen arvoteoria sekä yleisesti monitavoitteinen päätösanalyysi [Hammond et al, 1998, 1999]. Even-Swaps menetelmää täydentävän Smart-Swaps -prosessin tavoitteena on selvittää päätöksentekijän epätäydelliset preferenssit vaihtokauppojen avulla [Mustajoki & Hämäläinen, 2005; Mustajoki & Hämäläinen 2007]. Vaihtokaupassa päätöksentekijälle ehdotetaan päätösvaihtoehdon heikentämistä yhden kriteerin suhteen, joka kompensoidaan parannuksella jonkin toisen kriteerin suhteen.

Smart-swaps perustuu monitavoitteisen arvoteorian additiiviseen arvofunktiioon (3) ja oletukseen, että päätöksentekijä kykenee tarjoamaan jonkinlaista alustavaa informaatiota preferensseistään. Menetelmässä Even Swapsin rinnalla käytetään preferenssiohjelmointia, jonka ideana on, että päätöksentekijän tekemien vaihtokauppojen sekä joidenkin oletusten pohjalta saadaan rajoja päätöksentekijän mahdollisille kriteeripainoille.

Päätöksentekijälle ehdotetaan menetelmässä vaihtokauppoja, jossa muutos jonkin kriteerin i suhteen vaihtoehdossa x kompensoidaan yhtä hyvään lopputulokseen johtavalla muutoksella toisen kriteerin j kautta [Mustajoki & Hämäläinen, 2005]. Kaavan (3) perusteella tällöin pätee:

$$w_i v_i^N(x_i) + w_j v_j^N(x_j) = w_i v_i^N(x_i') + w_j v_j^N(x_j') \quad (12)$$

$$\Leftrightarrow w_i (v_i^N(x_i') - v_i^N(x_i)) = w_j (v_j^N(x_j) - v_j^N(x_j')) \quad (13)$$

Kaavasta (13) voidaan johtaa painojen w_i ja w_j osamäärälle rajoitus

$$\frac{w_i}{w_j} \leq \max \left(\frac{v_j^N(x_j) - v_j^N(x_j')}{v_i^N(x_i') - v_i^N(x_i)} \right) \quad (14)$$

Vaihtokauppojen lisäksi päätöksentekijältä pyydetään menetelmän aikana tietoa arvofunktioiden v_i^N mahdollisesta muodosta, jonka avulla päädytään arvofunktiokohtaisiin ylä- ja alarajoihin $\underline{v}_i^N(x_i)$ ja $\overline{v}_i^N(x_i)$ [Mustajoki & Hämäläinen, 2005].

Pyrkimyksenä on tehdä Even Swaps -vaihtokaupprosessien avulla kriteereistä joko irrelevantteja tai löytää dominoituja vaihtoehtoja. Ensin mainitussa tilanteessa vaihtokaupat ovat johtaneet siihen,

että kaikilla vaihtoehdoilla on samat seuraukset jonkun kriteerin suhteen ja sen tarkastelu voidaan lopettaa. Lisäksi nimensä mukaisesti vaihtoehto x dominoi vaihtoehtoa y , jos x on parempi tai yhtä hyvä kuin vaihtoehto y kaikilla kriteereillä ja parempi kuin y ainakin yhden kriteerin suhteen. Smart-swaps menetelmässä käytettävä preferenssinohjelmointi auttaa löytämään näitä dominansseja pareittaisen dominanssin kautta. Tässä ratkaistaan lineaarinen optimointitehtävä

$$\min_{w \in S} \sum_{i=1}^n w_i [v_i^N(x_i) - \bar{v}_i^N(y_i)], \quad (15)$$

jossa S on kriteeripainojen käypä alue, $v_i^N(x_i)$ ja $\bar{v}_i^N(x_i)$ ylä- ja alarajat $v_i^N(x_i)$:lle ja $v_i^N(y_i)$:lle. Mikäli vaihtoehto x_i dominoi vaihtoehtoa y_i , on kaavassa (15) esitetyn lineaarisen optimointitehtävän minimiarvo suurempi kuin nolla. Preferenssiohjelmoinnin tuloksena saatavaa informaatiota käytetään myös uusien vaihtokauppojen ehdotuksiin [Mustajoki & Hämäläinen, 2005].

4.4. PROMETHEE I & II

MCDA-ongelmien ratkomiseen kehitetyt outranking-menetelmien luokkaan kuuluvat PROMETHEE-menetelmät (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) perustuvat kuhunkin kriteeriin liitettävään preferenssifunktioon sekä näiden keskinäistä tärkeysjärjestystä kuvaaviin painokertoimiin [Brans & Mareschal, 2005]. Preferenssifunktiolla kuvataan päätöksentekijän preferenssien muutosta ja prefenssin muutokseen liittyvää kriittistä tasoa parivertailutilanteessa, kuten kuvassa 2 on esitetty. Tässä työssä tutkitaan menetelmiä PROMETHEE I ja PROMETHEE II, joista ensimmäinen on niin kutsuttu partial ranking – menetelmä ja jälkimmäinen complete ranking – menetelmä. Nimensä mukaisesti menetelmillä saadaan erilaiset tulokset: PROMETHEE I:llä osittainen ja PROMETHEE II:lla koko toimintavaihtoehtojoukon järjestykseen asettava.

PROMETHEE-menetelmät perustuvat seuraaviin nk. luonnollisiin dominanssirelaatioihin:

$$\begin{cases} \forall j: g_j(x) \geq g_j(y) \\ \exists k: g_k(x) > g_k(y) \end{cases} \Leftrightarrow xPy, \quad (16)$$

$$\forall j: g_j(x) = g_j(y) \Leftrightarrow xIy, \quad (17)$$

$$\begin{cases} \forall s: g_s(x) > g_s(y) \\ \exists r: g_r(x) < g_r(y) \end{cases} \Leftrightarrow xRy, \quad (18)$$

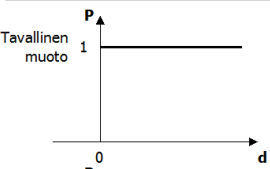
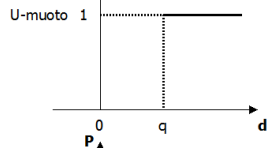
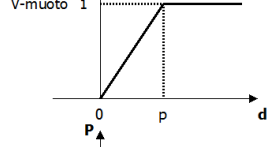
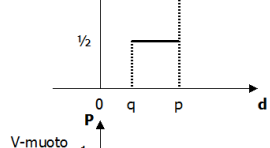
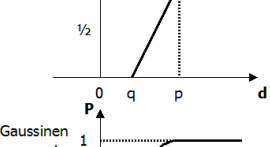
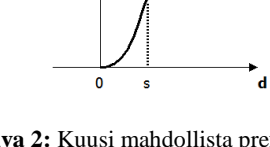
joissa $g_j(x)$ kuvaa vaihtoehdon x arvoa kriteerillä j mitattuna, kaavassa (16) esitelty P kuvaa preferenssiä, kaavan (17) I indefferenssiä ja kaavan (18) R vertailukelvottomuutta vaihtoehdoille x ja y kriteerien g suhteen. Ne vaihtoehdot, jotka eivät ole dominoituja relaatioiden (16)-(18) mielessä ovat niin kutsuttuja tehokkaita vaihtoehtoja. PROMETHEE-menetelmät pyrkivät siis karsimaan näiden määrää, jotta lopulta jäljelle jäisi joukko toimintavaihtoehtoja, joista lopullinen valinta voidaan tehdä.

Kuten MAVT-menetelmissä, päätöksentekijän tulee antaa kriteerien suhteellista tärkeyttä kuvaavat positiiviset painot, jotka lopulta normeerataan kuten relaatioissa (2). Näille ei kuitenkaan voida esittää samanlaista tulkintaa kriteeritasojen muuttumisen suhteen, vaan yksinkertaisesti: mitä korkeampi paino on, sitä tärkeämpi on kriteeri, ja päätöksentekijä saa vapaasti valita painot.

PROMETHEE-menetelmissä näihin ei oleteta liittyvän epätäydellisyyttä. Itse kriteerien suhteen päätöksentekijän ei kuitenkaan tarvitse ilmaista preferenssejään täsmällisinä arvofunktoina, vaan tämä tapahtuu parivertailujen kautta. Parivertailut perustuvat siihen, että tutkitaan kahden vaihtoehdon x ja y eroa tietyn kriteerin j suhteen, jolloin päätöksentekijä määrittelee funktion

$$P_j(x, y) = F_j[d_j(x, y)], \quad (19)$$

missä d_j kuvaa x :n ja y :n välisten kriteeritasojen erotusta, ja jossa $P_j(x, y)$:n lukuarvo on välillä $[0, 1]$. Kaava (19) kuvaa, kuinka paljon vaihtoehto x miellyttää päätöksentekijää vaihtoehtoa y enemmän ko. kriteerin suhteen. PROMETHEE-menetelmiin liittyen preferenssifunktoille on esitelty kuusi mahdollista muotoa, jotka ovat nähtävissä kuvassa 2.

Preferenssifunktion muoto	Määritelmä	Parametrit
 <p>Tavallinen muoto</p>	$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$	—
 <p>U-muoto</p>	$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1, & d > q \end{cases}$	q
 <p>V-muoto</p>	$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ d/p, & 0 \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$	p
 <p>Porrasmuoto</p>	$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1/2, & 0 \leq d \leq p \\ 1, & d > q \end{cases}$	p, q
 <p>V-muoto indifferenssillä</p>	$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ (d-q)/(p-q), & 0 \leq d \leq p \\ 1, & d > q \end{cases}$	p, q
 <p>Gaussinen muoto</p>	$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ e^{-\frac{d^2}{2s^2}}, & d > 0 \end{cases}$	p, q

Kuva 2: Kuusi mahdollista preferenssifunktion muotoa määritelmiseen [Brans & Mareschal, 2005]. Kuvassa käytetyssä notaatiossa funktion $P(d)$ argumentti d kuvaa kahden vaihtoehdon välisten kriteeritasojen erotusta.

Näitä käyttäen on siis mahdollista, että tiettyyn pisteeseen asti preferenssi ei muutu, mutta tämän kynnyksarvon jälkeen se muuttuu esimerkiksi porrasmaisesti (u-muoto) tai lineaarisesti (ramppi). Vastaavasti vaihtoehdon x paremmuutta vaihtoehtoon y verrattuna, mutta kaikkien kriteerien suhteen, kuvataan aggregoidulla preferenssi-indeksillä, joka määritellään

$$\pi(x, y) = \sum_{j=1}^k P_j(x, y)w_j, \quad (20)$$

jossa k kuvaa vaihtoehtojen kokonaismäärää. Mikäli $\pi(x, y)$ on lähellä nollaa, päätöksentekijä preferoi x :ää vain heikosti, ja mikäli taas lähellä lukua 1, preferenssi on vahva. Nimensä mukaisesti, näistä indekseistä saadaan pareittaisia dominanssirelaatioita vaihtoehtojen välille. Jotta päätöksentekijälle voidaan tuottaa vaihtoehtojen välinen, määritellään myös niin kutsutut outranking-virtaukset:

$$\Phi^+(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{a \in A} \pi(x, a). \quad (21)$$

$$\Phi^-(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{a \in A} \pi(a, x), \quad (22)$$

joista $\Phi^+(x)$ on positiivinen ja $\Phi^-(x)$ negatiivinen outranking-virtaus, n vaihtoehtojen kokonaismäärä ja x tutkittava vaihtoehto vaihtojoukossa A , johon muut vaihtoehdot a kuuluvat. Positiivinen virtaus kuvaa vaihtoehdon x vahvuutta, eli paljonko vaihtoehto x on muita vaihtoehtoja suositeltavampi, ja negatiivinen vastaavasti heikkoutta, eli sitä kuinka paljon muut vaihtoehdot ovat x :ää suositeltavampia.

PROMETHEE I:n osittainen järjestys saadaan tutkimalla kumpaakin virtausta erikseen, joka usein tuottaa eri päätösvaihtoehtosuositukset. Tämä vältetään, kun tulokset yhdistetään. PROMETHEE II:n täydellinen järjestys sen sijaan saadaan, kun tarkastellaan erotusta

$$\Phi(x) = \Phi^+(x) - \Phi^-(x), \quad (23)$$

jolloin valittava toimintavaihtoehto on se, jolle yhtälön (23) määrittelemä luku on suurin.

5. Tutkimusohjelmistot

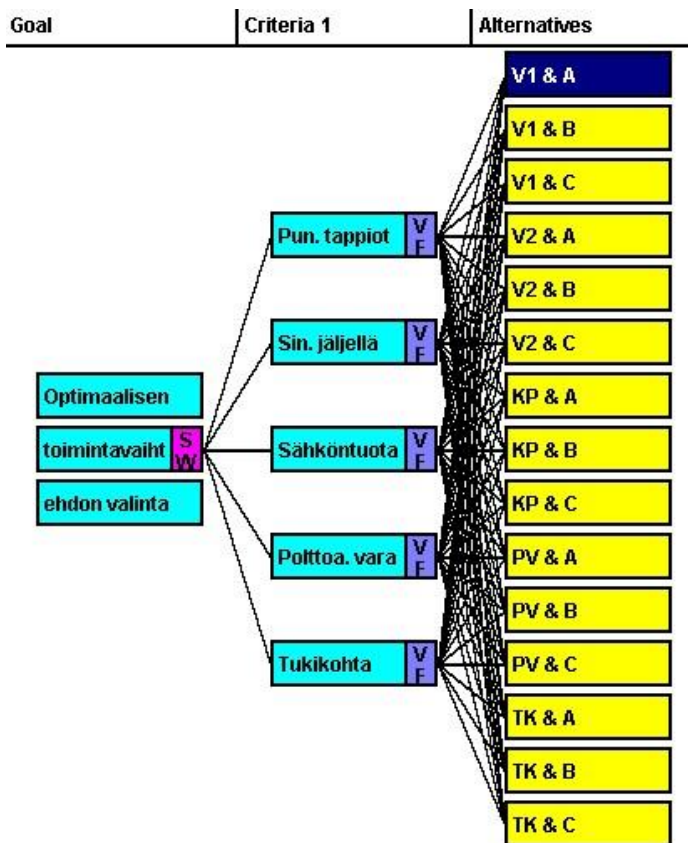
Edellä esiteltyjen päätöksenteon tukimenetelmien lisäksi kustakin menetelmästä valittiin menetelmän toteutuksen sisältävä ohjelmisto, joiden avulla menetelmien käytettävyyttä ja ominaisuuksia tullaan tutkimaan. Tässä osiossa esitellään valitut ohjelmistot pääominaisuuksineen.

5.1. Web-HIPRE

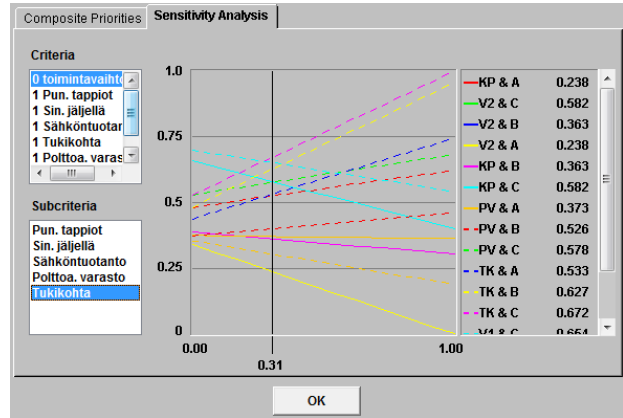
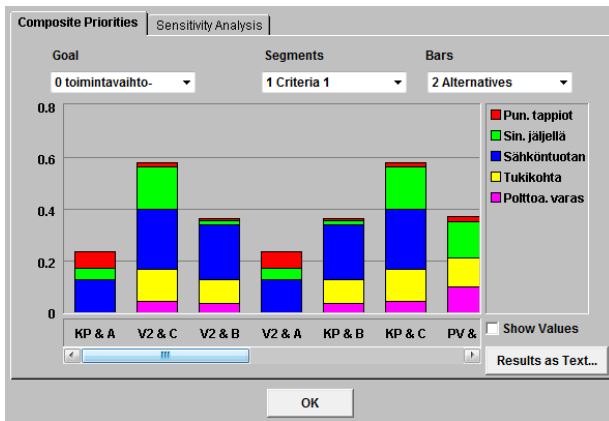
Web-HIPRE (Hierarchical Preference Analysis on the World Wide Web) on monitavoitteisen päätöksenteon tueksi Aalto-yliopiston Systeemianalyysin laboratoriossa kehitetty web-pohjainen Java-sovellus, joka löytyy osoitteesta <http://www.hipre.hut.fi/> (Mustajoki & Hämäläinen, 2000). Ohjelmisto on suunniteltu siten, että se tarjoaa tukea päätöksentekijälle aina itse päätöksentekongelman konstruoinnista sen ratkaisemiseen ja lopulta tulosten tarkasteluun ja herkkyysanalyysiin saakka. Web-HIPRE tukee useita MAVT- ja AHP (Analytical Hierarchy Process) -pohjaisia kriteeripainojen elisitointiin tarkoitettuja menetelmiä, kuten SMART, SMARTER, SWING sekä parivertailua [Mustajoki & Hämäläinen, 2000], joista tässä työssä keskitytään ainoastaan SWING:in tarkasteluun. Työssä käytettävä ohjelmistoversio on 1.22.

Web-HIPRE:ä käytettäessä päätöksentekijän on ensin muotoiltava tutkittavasta ongelmasta hierarkkinen kokonaisuus, jossa on esitetty kaikki päätösvaihtoehdot, sekä näihin liittyvät kriteerit, jotka koostuvat mahdollisesti useista tasoista. Perusasetelma on esitetty kuvassa 3. Tämän jälkeen kullekin ylempien tasojen kriteereille voidaan määrittää kriteeripainojen laskennassa käytettävä menetelmä, tässä siis SWING (josta kuvassa 3 käytetään lyhennettä SW). Alimpien tasojen preferenssit määritetään suoraan scoreina, parivertailuista tai päätöksentekijän preferenssejä kuvaavan arvofunktion avulla graafisessa muodossa (josta kuvassa 3 käytetään lyhennettä VF).

Määritettyään rakenteen sekä ilmaistuaan preferenssinsä, päätöksentekijä voi tarkastella mallin antamia tuloksia pylväsdiagrammista joka on esitetty vasemmalla kuvassa 4, jossa palkkien korkeudet kuvaavat päätösvaihtoehtojen suhteellista paremmuutta. Pylväät koostuvat erivärisistä komponenteista, jotka edelleen kuvaavat eri kriteerien vaikutusta kyseisen toimintavaihtoehdon kokonaisarvoon additiivisella mallilla (3). Lisäksi kuvassa 4 oikealla esitetyn ohjelmaan implementoidun graafisen herkkyyksianalyysityökalun avulla on mahdollista tarkastella, miten muutokset preferensseissä vaikuttaisivat suositeltavaan päätösvaihtoehtoon.



Kuva 3: Web-HIPRE-ohjelmiston perusnäkyminen. Kuvassa on käytetty torjuntavoiman paikalle lyhenteitä "V1": voimala 1, "V2": voimala 2, "KP": kaasuputki, "PV": polttoainevarasto ja "TK": tukikohta.



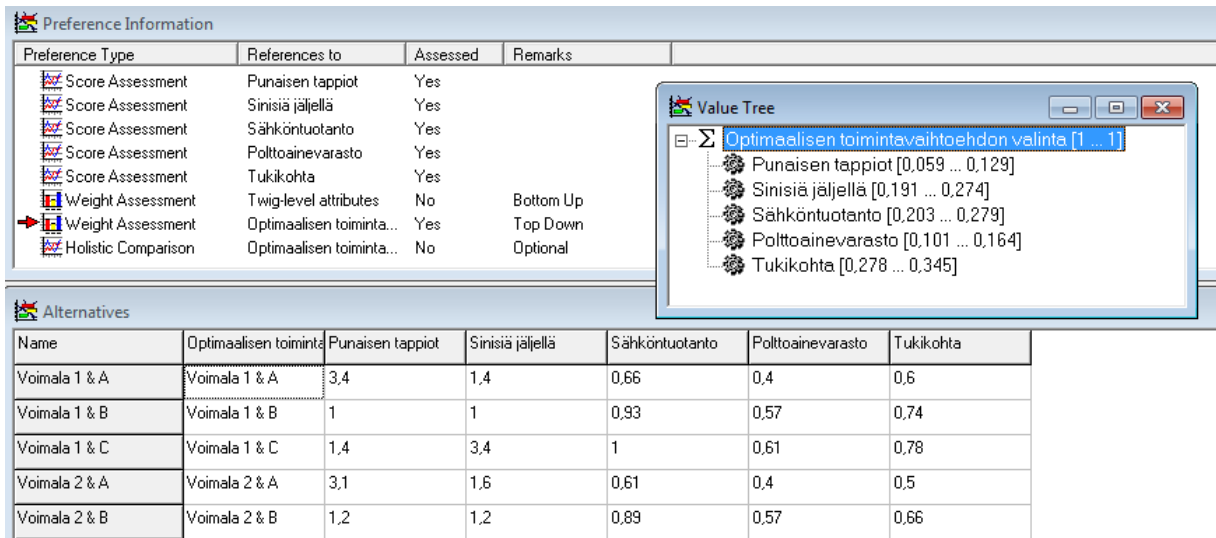
Kuva 4: Web-HIPRE:n tuottama tulos pylväsiagrammeina (vasemmalla) sekä herkkyysoanalyysityökalun esimerkinäkymä (oikealla). Taulukossa on käytetty torjuntavoiman paikalle lyhenteitä ”V1”: voimala 1, ”V2”: voimala 2, ”KP”: kaasuputki, ”PV”: polttoainevarasto ja ”TK”: tukikohta.

5.2. PRIME Decisions

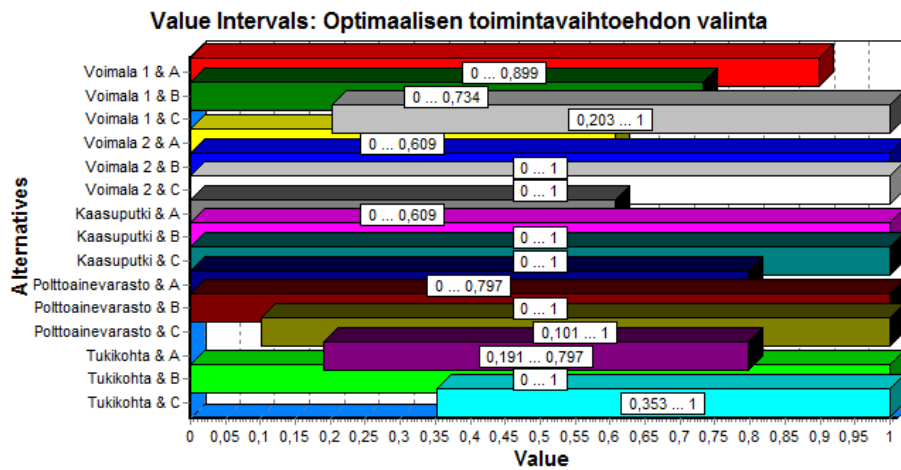
PRIME Decisions on PRIME-menetelmää hyödyntävä päätöksenteon tukimenetelmä. Kyseinen työkalu on saatavilla Aalto-yliopiston Systemianalyysin laboratorion Internet-sivuilta osoitteesta <http://sal.aalto.fi/en/resources/downloadables/prime>. Työssä käytetään versiota 1.03.

PRIME Decisions – ohjelmiston käyttö alkaa tavoitteiden sekä kriteerien hierarkkisesta määrittämisestä Value tree – ikkunaan, joka on esitetty kuvassa 5. Tämän jälkeen päätösvaihtoehdot voidaan scoreineen täydentää Alternatives – lehdelle. Näiden osa-alueiden täydentämisen jälkeen tulee suorittaa ohjattu preferenssien määrittäminen, jossa päätöksentekijän tulee ensin järjestää kunkin vaihtoehdon scoret preferenssien mukaiseen suuruusjärjestykseen parhaimmasta huonoimpaan eli ordinaaliseen järjestykseen. Tämän lisäksi päätöksentekijä voi antaa informaatiota siitä kuinka paljon parempia nämä kriteeritasot keskinäisessä vertailussa ovat, eli määrittää niille kardinaalisen järjestyksen. Tämä ei ole pakollista, mutta antaa keskeistä lisätietoa päätöksentekijän preferensseistä, sillä se paikkaa niitä aukkoja joita pelkästään ordinaalinen preferenssi-informaatio ei kykene ilmaisemaan [Gustafsson, 1999]. Lisäksi päätöksentekijän tulee antaa SWING-menetelmän kaltaisesti informaatiota kriteerien painoarvoista: parhaalle kriteerille 100 pistettä ja muut suhteessa tähän siten, että niille annetaan painoarvojen käyvän alueen ylä- ja alarajat.

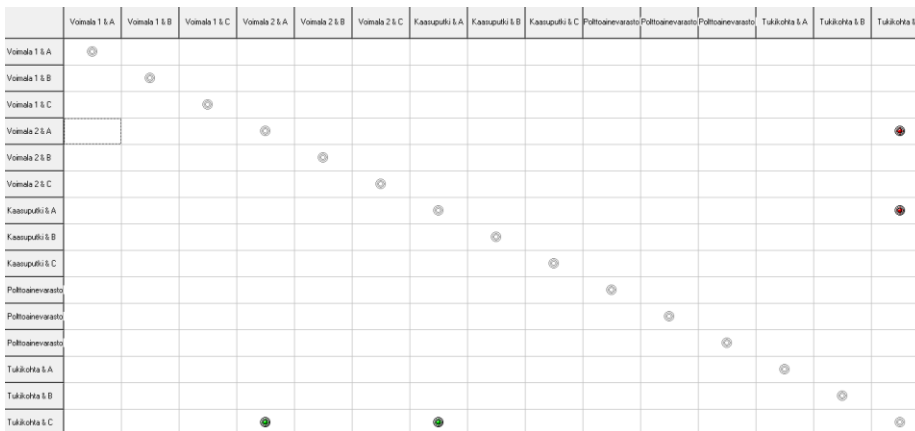
Preferenssien määrittämisen jälkeen PRIME Decisions -ohjelmistolla voidaan tarkastella päätösvaihtoehtojen välisiä mahdollisia dominansseja: absoluuttisia, sekä pareittaisia. Kuvassa 6 esitetystä Value Intervals ikkunasta nähdään suoraan, mikäli jokin vaihtoehto dominoi absoluuttisesti jotain toista. Pareittaiset dominanssit sen sijaan ovat nähtävillä kuvassa 7 esitetystä ikkunassa Dominance siten, että solun vihreä väri tarkoittaa että ko. rivin vaihtoehto kyseisen dominoi sarakkeen vaihtoehtoa, punainen päinvastoin ja väritön viittaa ratkaisemattomaan tilanteeseen. Aiemmassa osiossa kuvattujen neljän päätöksentekosäännön antamat suositukset ovat lisäksi päätöksentekijän tarkasteltavissa ikkunassa Decision Rules, kuten kuvassa 8 on esitetty.



Kuva 5: Tutkittavan tilanteen näkymä PRIME Decisionsissa.



Kuva 6: PRIME Decisionsin tuottamat arvointervallit tutkittaville toimintavaihtoehdoille.



Kuva 7: Prime Decisionsin tuottama pareittaista dominanssia kuvaava taulukko.

	Maximax	Maximin	Central Values	Minimax Regret	Possible Loss
Voimala 1 & A					0,941
Voimala 1 & B					1,000
Voimala 1 & C	✓				0,594
Voimala 2 & A					1,000
Voimala 2 & B					1,000
Voimala 2 & C					0,831
Kaasuputki & A					1,000
Kaasuputki & B					1,000
Kaasuputki & C					0,831
Polttoainevarasto & A					0,831
Polttoainevarasto & B	✓				0,809
Polttoainevarasto & C	✓				0,597
Tukikohta & A					0,809
Tukikohta & B	✓				0,809
Tukikohta & C		✓	✓	✓	0,523

Kuva 8: PRIME Decisionsin neljän päätöksentekosäännön tulokset, sekä suurin mahdollinen tappio (PLV).

5.3. Smart-Swaps

Smart-Swaps on Aalto-yliopiston Systeemianalyysin laboratoriossa kehitetty Java-pohjainen päätöksenteon tukiohjelmisto monikriteerisille päätösongelmille [Mustajoki & Hämäläinen, 2007]. Ohjelmisto on saatavilla osoitteesta <http://www.smart-swaps.hut.fi/>. Tässä työssä käytetään ohjelmiston versiota 1.0. Smart-Swaps pystyy käsittelemään epätäydellistä preferenssi-informaatiota even swaps – menetelmän sekä ohjelmiston taustalla toimivan preferenssiohjelmoinnin pohjalta [Salo & Hämäläinen, 2010]. Smart-Swapsissa päätöksentekijä tekee kappaleessa 4.3. kuvattuja vaihtokauppoja ohjelmiston ehdottamassa järjestyksessä, eli käytännössä vastaa kysymyksiin, jotka antavat järjestelmälle informaatiota päätöksentekijän preferensseistä. Smart-Swaps-ohjelmisto on rakennettu siten, että se seuraa niin kutsuttua ProACT-prosessia (Problem, Objectives, Alternatives, Consequences, Trade-offs) vaihe vaiheelta [Hammond et al, 1999]. Perusnäky on esitelty kuvassa 9.

Päätöksentekijän preferenssien määrittäminen tapahtuu siis even swapsin, eli vaihtokauppojen avulla Tradeoffs-välilehdellä, joka näkyy kuvassa 11. Tällä välilehdellä päätöksentekijää ohjeistetaan vaihtokauppojen teossa, ja hän pystyy samanaikaisesti seuraamaan Consequenses-välilehdellä määriteltyä kriteeritasoja kuvaavan taulukon muutoksia (kuva 10). Vaihtokauppojen tekeminen suoritetaan siten, että päätöksentekijä valitsee kolme kyseisen taulukon solua: muutossolun, referenssisolun, sekä kompensoivan solun. Tilanne on esitetty kuvassa 11.

Tämän jälkeen, jo ennen varsinaista päätöstä, päätöksentekijä näkee mitä dominansseja tai kriteerien karsiutumista kyseillä vaihtokaupalla voidaan mahdollisesti saavuttaa. Varsinainen even swap tehdään kuvassa 12 esitettyssä erillisessä ikkunassa edellä valittujen kolmen solun suhteen siten, että päätöksentekijä määrittää lukuarvona miten muutosta voidaan kompensoida. Lopulta ohjelmisto informoi päätöksentekijää syntyvistä eliminaatioista sekä pyytää varmistuksen vaihtokaupan hyväksymiseksi. Edellä kuvattu tapahtuma toistetaan, kunnes prosessi saadaan päätökseen (kaikki paitsi yksi vaihtoehto eliminoitu tai kriteerit tehty merkityksettömiksi).

Lopputuloksena jää Smart-Swapsin suositus parhaasta vaihtoehdosta, sekä tämän dominanssit muihin vaihtoehtoihin nähden. Lopuksi on myös mahdollista tarkastella tehdyn prosessin kulkua tallentuneesta lokitiedostosta, sekä tehdä jopa tämän perusteella muutoksia aiempiin valintoihin.

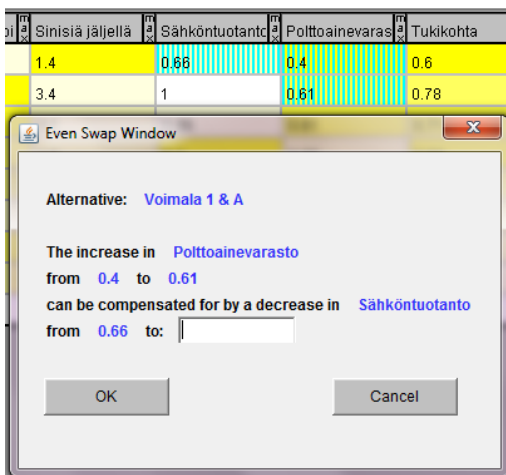
Kuva 9: Tutkittavan tilanteen lähtönäkymä Smart-Swaps – ohjelmistossa, ProACT-prosessin alussa.

	Punaisen tappi <small>m a x</small>	Sinisiä jäljellä <small>m a x</small>	Sähköntuotanto <small>m a x</small>	Polttoainevaras <small>m a x</small>	Tukikohta <small>m a x</small>
Scale	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Min/Max	Maximize	Maximize	Maximize	Maximize	Maximize
Unit	lentokone	lentokone	yks.	yks.	yks.
Voimala 1 & A	3.4	1.4	0.66	0.4	0.6
Voimala 1 & B	1	1	0.93	0.57	0.74
Voimala 1 & C	1.4	3.4	1	0.61	0.78
Voimala 2 & A	3.1	1.6	0.61	0.4	0.5
Voimala 2 & B	1.2	1.2	0.89	0.57	0.66
Voimala 2 & C	1.6	3.1	0.96	0.61	0.71
Kaasuputki & A	3.1	1.6	0.61	0.4	0.5
Kaasuputki & B	1.2	1.2	0.89	0.57	0.66
Kaasuputki & C	1.6	3.1	0.96	0.61	0.71
Polttoainevarasto	1.7	2.8	0.2	0.89	0.69
Polttoainevarasto	2	2	0.55	0.98	0.82
Polttoainevarasto	2.8	1.7	0.64	1	0.85
Tukikohta & A	1.7	4	0.2	0.65	0.88
Tukikohta & B	2.4	2.4	0.55	0.77	0.98
Tukikohta & C	4	1.7	0.64	0.81	1

Kuva 10: Smart-Swapsin Consequences-välilehti, jossa määritellään vaihtoehtojen kriteeritasot.

Voimala 1 & A	3.4	1.4	0.66	0.4	0.6	Prac. Dom.
Voimala 1 & B	1	1	0.93	0.57	0.74	Dominated
Voimala 1 & C	1.4	3.4	1	0.61	0.78	
Voimala 2 & A	3.1	1.6	0.61	0.4	0.5	Dominated
Voimala 2 & B	1.2	1.2	0.89	0.57	0.66	Dominated
Voimala 2 & C	1.6	3.1	0.96	0.61	0.71	
Kaasuputki & A	3.1	1.6	0.61	0.4	0.5	Dominated
Kaasuputki & B	1.2	1.2	0.89	0.57	0.66	Dominated
Kaasuputki & C	1.6	3.1	0.96	0.61	0.71	Dominated
Polttoainevarasto	1.7	2.8	0.2	0.89	0.69	
Polttoainevarasto	2	2	0.55	0.98	0.82	
Polttoainevarasto	2.8	1.7	0.64	1	0.85	
Tukikohta & A	1.7	4	0.2	0.65	0.88	
Tukikohta & B	2.4	2.4	0.55	0.77	0.98	
Tukikohta & C	4	1.7	0.64	0.81	1	

Kuva 11: Smart-Swapsin Tradeoffs-välilehti, jossa näytetään dominoidut vaihtoehdot sekä vaihtokauppaprosessissa yhä mukana olevat toimintavaihtoehdot kriteeritasoineen.



Kuva 12: Smart-Swapsin vaihtokauppaikkuna, kun on valittu kolme solua, joiden suhteen muutos halutaan tehdä.

5.4. Visual PROMETHEE

PROMETHEE I ja II – menetelmien käytettävyyttä tutkitaan tässä työssä Visual PROMETHEE beta – ohjelmiston avulla, joka on saatavilla osoitteesta <http://www.promethee-gaia.com/>. Käytettävä versio on 1.0.9.

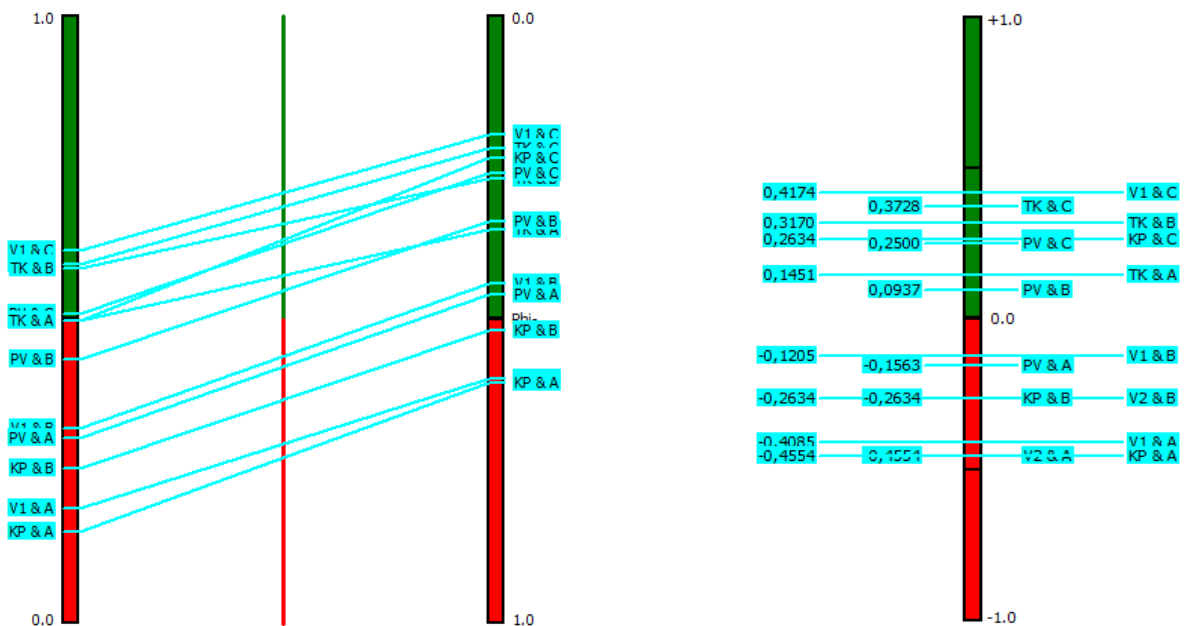
Ohjelmistossa on mahdollista luoda erilaisia päätöksentekotilanteita, joissa tutkitaan toimintavaihtoehtojen valintaa kriteerien avulla. Tämä voidaan tehdä ohjatusti Creation assistant – työkalun avulla. Visual PROMETHEE:n perusnäky on esitelty alla kuvassa 13. Myös kriteeripainot voidaan määrittää kuvassa 14 esitetyllä ohjatulla graafisella weighing assistant – ominaisuudella, jossa päätöksentekijä antaa täsmälliset painot tähtinä pisteyttäen. Päätöksentekijän tulee lopulta määrittää jokaiselle kriteerille oma preferenssifunktionensa muodon kaavan (19) ja kuvan 2 esittämällä tavalla, jota käytetään parivertailujen pohjana, sekä määritellä näille tarvittavat parametrit. Toimintavaihtoehdoille on mahdollista tutkia niiden osittaista ja täydellistä paremmuusjärjestystä. Tämä on esitetty graafisesti kuvassa 15 ja taulukkona kuvassa 16. Myös painokertoimien muutosten vaikutuksen tutkiminen graafisesti on mahdollista, kuten kuvasta 17 käy ilmi.

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Optimaalisen toimi...	Punaisen tap...	Sinisiä jäljellä	Sähköntuota...	Polttoaineva...	Tukikohta
Unit	lentokonetta	lentokonetta	yks.	yks.	yks.
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences					
Min/Max	max	max	max	max	max
Weight	9,38	21,88	25,00	12,50	31,25
Preference Fn.	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape	U-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	0,60	0,40	0,06	0,15	0,04
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Kuva 13: Visual PROMETHEE:n kriteerien määrittelyn peruskäyttöä.

none	★★★★★★	100,00	100%
none	★★★★★★	100,00	100%
Punaisen tappiot	★★☆☆☆☆	30,00	9%
Sinisiä jäljellä	★★★★★	70,00	22%
Sähköntuotanto	★★★★★	80,00	25%
Polttoainevarasto	★★☆☆☆☆	40,00	12%
Tukikohta	★★★★★★	100,00	31%

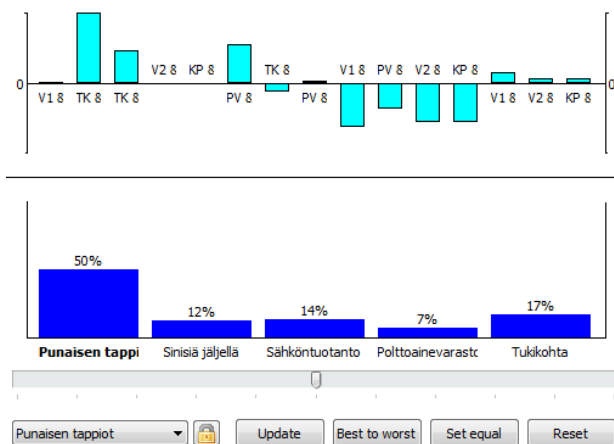
Kuva 14: Visual PROMETHEE:n kriteeripainojen määrittely tähtityökalun avulla.



Kuva 15: Visual PROMETHEE:n osittainen (vasemmalla) sekä täydellinen (oikealla) järjestys vaihtoehdoille. Vasemman kuvan vasen sarakke esittää positiivista outranking-virtausta, ja oikea negatiivista. Taulukossa on käytetty torjuntavoiman paikalle lyhenteitä "V1": voimala 1, "V2": voimala 2, "KP": kaasuputki, "PV": polttoainevarasto ja "TK": tukikohta.

	action	Phi	Phi+	Phi-
1	V1 & C	0,4174	0,6138	0,1964
2	TK & C	0,3728	0,5915	0,2188
3	TK & B	0,3170	0,5848	0,2679
4	V2 & C	0,2634	0,4978	0,2344
5	KP & C	0,2634	0,4978	0,2344
6	PV & C	0,2500	0,5089	0,2589
7	TK & A	0,1451	0,4978	0,3527
8	PV & B	0,0938	0,4330	0,3393
9	V1 & B	-0,1205	0,3214	0,4420
10	PV & A	-0,1563	0,3036	0,4598
11	V2 & B	-0,2634	0,2545	0,5179
12	KP & B	-0,2634	0,2545	0,5179
13	V1 & A	-0,4085	0,1897	0,5982
14	V2 & A	-0,4554	0,1496	0,6049
15	KP & A	-0,4554	0,1496	0,6049

Kuva 16: Visual PROMETHEE:n tulokset PROMETHEE I:lle ja II:lle taulukkona. Taulukossa on käytetty torjuntavoiman paikalle lyhenteitä ”V1”: voimala 1, ”V2”: voimala 2, ”KP”: kaasuputki, ”PV”: polttoainevarasto ja ”TK”: tukikohta.



Kuva 17: Painokertoimien herkkyysokalu ”walking weights” Visual PROMETHEE:ssa. Kuvassa on käytetty torjuntavoiman paikalle lyhenteitä ”V1”: voimala 1, ”V2”: voimala 2, ”KP”: kaasuputki, ”PV”: polttoainevarasto ja ”TK”: tukikohta.

6. Tulokset

Tässä kappaleessa esitellään edellä esitellyin menetelmin saadut tulokset kappaleessa 3 kuvatulle päätöksentekotilanteelle.

6.1. Web-HIPRE

Kappaleessa 3.4. esitellyt preferenssit kuvattiin Web-HIPRE:n SWING-menetelmässä seuraavin pisteytyksin: Tukikohta 100, Sähköntuotanto 80, Sinisiä jäljellä 75, Polttoainevarasto 40 ja Punaisen tappiot 30. Arvofunktiot oletettiin lineaarisiksi yksinkertaisuuden vuoksi. Taulukossa 1 on esitelty Web-HIPRE-ohjelmistoa, SWING-menetelmää sekä lineaarisia arvofunktioita käyttäen saadut tulokset seitsemän parhaan toimintavaihtoehdon osalta. Tuloksista nähdään, että toimintavaihtoehdot ”Tukikohta & C” ja ”Voimala 1 & C” saavat parhaat pistemäärät.

Taulukko 1: Kahdeksan parhaiten menestyneen toimintavaihtoehdon kokonaispistemäärät sekä pistejaottelu: Taulukossa on käytetty torjuntavoiman paikalle lyhenteitä ”V1”: voimala 1, ”V2”: voimala 2, ”KP”: kaasuputki, ”PV”: polttoainevarasto ja ”TK”: tukikohta.

Toimintavaihtoehto	TK & C	V1 & C	TK & B	V2 & C	KP & C	PV & C	TK & A
Punaisen tappiot	0.092	0.012	0.043	0.018	0.018	0.055	0.022
Sinisiä jäljellä	0.054	0.185	0.108	0.162	0.162	0.054	0.231
Sähköntuotanto	0.135	0.246	0.108	0.234	0.234	0.135	0
Tukikohta	0.308	0.167	0.295	0.124	0.124	0.211	0.23
Polttoainevarasto	0.084	0.043	0.076	0.043	0.043	0.123	0.051
Kokonaispistemäärä	0.673	0.653	0.629	0.581	0.581	0.579	0.534

6.2. PRIME Decisions

Kappaleessa 3.4. esiteltyjä kriteereihin liittyviä preferenssioletuksia kuvattiin PRIME Decisions-ohjelmistossa mahdollisimman konsistentisti Web-HIPRE:n SWING-menetelmän kanssa. Paino-intervallit olivat seuraavat: Tukikohta 100, Sähköntuotanto 85–70, Sinisiä jäljellä 85–65, Polttoainevarasto 50–35 ja Punaisen tappiot 40–20. Kriteerikohtaiset arvotukset kuvattiin asettamalla kriteeritasot ordinaaliseen järjestykseen. Kuvat 6 ja 7 esittelevät ohjelmistolla saatavat arvointervallit sekä dominanssirelaatiot. Kuva 8 kuvaa päätöksentekosäännöillä saatavia tuloksia. Neljällä viidestä säännöstä toimintavaihtoehdoksi valikoituisi ”Tukikohta & C”, paitsi säännöllä maximax, jolla vaihtoehdot ”Voimala 1 & C”, ”Polttoainevarasto & B”, ”Polttoainevarasto & C” ja ”Tukikohta & B” ovat yhtä hyviä. Kuitenkin ”Tukikohta & C” vaihtoehdolla on myös pienin mahdollinen tappio: 0,523. Lisäksi havaitaan, että toimintavaihtoehto ”Tukikohta & C” dominoi pareittain vaihtoehtoja ”Voimala 2 & A” sekä ”Kaasuputki & A”.

6.3. Smart-Swaps

Smart-Swaps-ohjelmistossa kappaleen 3.4. preferenssejä kuvattiin siten, että niiden SWING-menetelmän tulosten yhteydessä esitelty suhteellinen tärkeysjärjestys pyrittiin pitämään mielessä vaihtokauppoja tehdessä. Kuvassa 11 nähdään Smart-Swaps – ohjelmistolla saatavat tulokset, ennen kuin päätöksentekijä on tehnyt lainkaan even swaps – vaihtokauppoja. Useiden vaihtokauppakierrosten jälkeen kolme viimeistä vaihtoehtoa ovat ”Voimala 1 & C”, ”Tukikohta & A” sekä ”Tukikohta & C”. Näistä viimeisimmäksi jää toimintavaihtoehto ”Voimala 1 & C”. Lokitiedosto löytyy liitteestä 2.

6.4. Visual PROMETHEE

Kappaleen 3.4. preferenssit mallinnettiin Visual PROMETHEE:ssa mahdollisimman konsistentisti SWING-menetelmän kanssa, eli pisteyttämällä kriteerit kuvan 14 osoittamalla tavalla. Kriteeripainot ovat näin ollen käytännössä samat, paitsi kriteerin ”Sinisiä jäljellä” suhteen, koska tarkkuus on pienempi (75 → 70 p). Parivertailufunktioiksi valittiin kaikille U-mallinen funktio, jossa indifferenssi muuttuu parametrin q kuvaaman pisteen jälkeen preferenssiksi. Parametria määriteltäessä pyrittiin pitämään mielessä kriteerien suhteellinen tärkeys siten, että tärkeimmälle kriteerille määriteltiin (skaalauksella suhteutetusti) pienin indifferenssiraja, jotta siihen liittyvät muutokset vaikuttavat helpommin. Kuvissa 15 ja 16 nähdään päätöksentekotilanteen tulokset Visual PROMETHEE – ohjelmistolla. Tulokset osoittavat, että vaihtoehto ”Voimala 1 & C” voittaa melko ylivoimaisestikin PROMETHEE II:n täydellistä järjestystä tutkittaessa.

7. Tarkastelu ja johtopäätökset

7.1. Tulosten tarkastelua

Web-HIPRE:n perusteella valittava toimintavaihtoehto tutkimassa päätöksentekotilanteessa olisi ”Tukikohta & C”, vaikka myös ”Voimala 1 & C” saa lähes yhtä hyvät pisteet. PRIME Decisionsilla sen sijaan ”Tukikohta & C” voittaa 4/5 päätöksentekosäännöstä, vaikka neljä muutakin vaihtoehtoa voisi tulla valituksi maximax-säännön perusteella. Smart-Swapsillakin suositeltavaksi vaihtoehdoksi saadaan ”Voimala 1 & C”, joka on päätössuositus myös Visual PROMETHEE:n PROMETHEE II:ta käytettäessä. PROMETHEE I – menetelmällä saatuja tuloksia ei tällä tavoin voida verrata, sillä ne muodostavat toimintavaihtoehdoille vain osittaisen järjestyksen.

Ilman epätäydellisiä preferenssejä (eli Web-HIPRE:llä) 5/7 parhaasta vaihtoehdosta sisältää ilmataistelutaktiikan C, joka kuuluu myös jokaiseen muiden menetelmien ehdottamaan toimintavaihtoehtoon. Loput kaksi Web-HIPRE:n tuloksista sisältävät taas suojattavan kohteen ”Tukikohta”, jota ei myöskään Smart-Swapsin perusteella dominoida millään ilmataistelukombinaatiolla. Nämä tulokset viittaavat siihen, että lopullinen päätös tehtäneiden toimintavaihtoehtojen ”Tukikohta & C” ja ”Voimala 1 & C” välillä, joiden paremmuus on lopulta päätöksentekijän preferensseistä kiinni.

Lisäksi voidaan todeta, että epätäydellisten preferenssien ilmaisumahdollisuus vaikuttaa ehdotettuun toimintavaihtoehtoon, sillä Web-HIPRE:n tulos ”Tukikohta & C” on ehdotettu päätös vain PRIME Decisionsilla. Näin ollen, kun tutkittavassa tilanteessa on kaksi toisiaan muutoin lähellä olevaa vaihtoehtoa, päätöksentekijä voi saada oleellista lisätukea epätäydellistä preferenssi-informaatiota tukevien menetelmien kautta. Kun päätöksentekijä ei kykene ilmaisemaan preferenssejään täsmällisesti, ei voida olettaa että tätä huomioimattomat ohjelmistot välttämättä tuottaisivat tuloksia, jotka todella vastaisivat päätöksentekijän preferenssejä.

7.2. Menetelmien vertailua

7.2.1. Yleisiä havaintoja ohjelmistoista ja niiden käyttöliittymistä

Internet-pohjaisina ohjelmistoina Web-HIPRE ja Smart-Swaps ovat tämän työn vertailussa helpoiten saatavilla päätöksentekijän näkökulmasta. Myös PRIME Decisions ja Visual PROMETHEE ovat kohtuullisen helposti saatavilla, koska nekin voidaan ladata Internetistä, mutta muun muassa omien tiedostojen palvelimelle tallentamisen mahdollisuuden puuttuminen on puute, jos käyttäjiä on useita. Toisaalta jos Internet-yhteys on hidas, omalle tietokoneelle tallennettavat ohjelmistot erottuvat selvästi edukseen.

Ulkoasultaan kaikissa ohjelmistoissa on samoja pääpiirteitä, mutta yksityiskohdiltaan ne eroavat melkoisesti. Web-HIPRE:n visuaalisuus on yksinkertaisuutensa vuoksi käyttäjäystävällinen ja helppo oppia. Jos sen tuottamat tulokset ovat kuitenkin toisiaan lähellä, syntyy visualisointiongelmia, sillä graafisia tuloksia voi olla hankalaa vertailla samankokoisten palkkien vuoksi. Vaikka tulokset on mahdollista nähdä myös tekstimuodossa ja tuoda muihin ohjelmiin, ei toteutus ole helppokäyttöinen. PRIME Decisions on käyttöliittymältään ohjelmistoista monimutkaisin ja tarjoaa vähiten ohjattua tukea, mutta toisaalta tarjoaa kokeneemmalle päätöksentekijälle paljon erilaisia tulosten tarkastelukeinoja sekä soveltamismahdollisuuksia. Smart-Swapsin ProACT-tyyppinen jaottelu helpottaa päätöksentekijää hahmottamaan päätöksentekotilanteen kokonaisuutena kaikkine

ulottuvuuksineen, sekä näkemään syvempiä syy-seuraussuhteita vaihtokauppojen, eli pohjimmiltaan tämän omien preferenssien sekä lopullisten tulosten välillä. Lisäksi sen vaihtokauppojen teko on intuitiivista ja hyvin ohjattua. Visual PROMETHEE:n käyttöliittymä on vastaavasti varsin intuitiivinen, helposti muokattavissa ja graafisuutensa vuoksi erittäin käyttäjäystävällinen.

Varsinaisen tutkimustilanteen (tavoite, päätösvaihtoehdot ja kriteerit tasoineen) konstruointiin vaatii tutkituissa päätöksenteko-ohjelmistoissa kautta linjan likimäärin yhtä paljon työtä. On kuitenkin mainittava, että Web-HIPRE-, PRIME Decisions ja Visual PROMETHEE -ohjelmistojen selkeä etu on, että niitä käytettäessä on mahdollisuus tuoda kriteeritasot ulkopuolisesta lähteestä, esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmasta tai tekstitiedostosta ilman, että niitä tarvitsee syöttää manuaalisesti. Etenkin suuren kokoluokan päätösongelmien kohdalla tämä on tehokkuuden kannalta merkittävä. Smart-Swapsissa sen sijaan päätöksentekijä joutuu tekemään tämän manuaalisesti, ja tietojen syöttäminen on erittäin hidasta ja vaivalloista.

7.2.2. Preferenssi-informaation soveltaminen

Taulukkoon 2 on koottu kullekin tässä työssä tutkitulle menetelmälle sekä tätä vastaavalle ohjelmistolle niiden vaatimat preferenssi-informaatioon liittyvät tiedot. Ne kohdat (tässä taulukon solut), joihin kyseisen menetelmän kohdalla sallitaan liittyvän epätäydellisyyttä, on merkitty värillisellä pohjalla. Menetelmistä PRIME ja even swaps sallivat epätäydellisyyden sekä arvofunktioiden että painojen suhteen, kun taas PROMETHEE I ja II mahdollistavat vain kriteerien sisäiseen arvotukseen liittyvän epätäydellisyyden ja Web-HIPRE/SWING ei salli epätäydellisyyttä lainkaan.

Taulukko 2: Tutkittujen menetelmien ja ohjelmistojen preferenssi-informaation muodot sekä näissä sallittu epätäydellisyys (merkitty värillisin soluin).

Menetelmä / ohjelmisto	Kriteerien arvotus	Kriteeripainokertoimet w_i
SWING / Web-HIPRE	1. Arvofunktiot v_i graafisesti, tai 2. Suora pisteytys (score)	Suhteellinen pisteyttäminen lukuarvoin, 0-100 p
PRIME / PRIME Decisions	Tasojen asettaminen 1. Ordinaalijärjestykseen, tai 2. Kardinaalijärjestykseen, ylä- ja alarajoihin	Suhteellinen pisteyttäminen lukuarvoin, 0-100p intervaleina
Even swaps / Smart-Swaps	Vaihtokauppojen tekeminen (preferenssiohjelmointi)	Vaihtokauppojen tekeminen (preferenssiohjelmointi)
PROMETHEE I & II / Visual PROMETHEE	Parivertailut preferenssifunktioiden avulla	Suhteellinen pisteyttäminen vapain lukuarvoin (tai ”tähtinä”)

Tämän työn perustilanteeksi valitussa Web-HIPRE-ohjelmistossa oletetaan, että päätöksentekijä osaa ilmaista kriteeritasoihin ja niiden välisiin painotuksiin liittyvät preferenssit täsmällisesti. PRIME-menetelmässä päätöksentekijä ei sen sijaan vaadita suoraa tietoa arvofunktion muodosta tai edes niiden täsmällisistä scoreista, vaan riittää että päätöksentekijä määrittelee kriteeritasot niiden ordinaaliseen tai kardinaaliseen järjestykseen ohjatulla toiminnolla. Päätöksentekijän ei myöskään tarvitse osata määritellä kriteeripainotuksiaan tarkasti, vaan näille voidaan antaa vaihteluvälit, joilla suhteellinen tärkeys voi liikkua. Muutoin menetelmä toimii kuten SWING, joten sitä ei liene merkittävästi hankalampaa kommunikoida ja ymmärtää kuin perinteinen SWING-painotus. Smart-

Swapsia käytettäessä päätöksentekijän tulee suorittaa hänelle yhtä mieluisiin lopputuloksiin johtavia vaihtokauppoja, joista saatavan informaation sekä ohjelmiston taustalla toimivan preferenssiohjelmoinnin avulla ohjelmisto pyrkii estimoimaan päätöksentekijän arvofunktoita. Samalla informaatiolla estimoidaan lisäksi päätöksentekijän preferenssien mukaisia kriteeripainojen suhdelukuja intervallimuotoisina, jolloin niiden käypä alue on mahdollista määrittää [Mustajoki & Hämäläinen, 2005]. PROMETHEE I ja II menetelmissä epätäydellisyyttä sisältävät kriteeriarvotukset määrittellään päätöksentekijän tekemien parivertailujen kautta preferenssifunktioiden avulla. Ne eivät kuitenkaan salli epätäydellisyyttä kriteeripainoihin liittyen, vaan päätöksentekijän tulee määrittellä ne Visual PROMETHEE -ohjelmistossa täsmällisinä pistemäärinä tai ohjatusti antamalla kriteereille ”tähtiä” niiden suhteellisen tärkeyden mukaisesti.

Päätöksentekijän kannalta yksinkertaisimmat preferenssien soveltamismahdollisuudet tarjonnee Smart-Swaps, koska sen preferenssimäärityksen toteuttaminen (vaihtokauppojen tekeminen) ei vaadi päätöksentekijältä matemaattiseen mallintamiseen tai päätöksentekoon liittyvää pätevyyttä [Mustajoki & Hämäläinen, 2005]. Toisaalta on huomioitava, ettei kyseinen menetelmä ole kovin läpinäkyvä päätöksentekoprosessin kannalta. Ohjelmistoa käytettäessä päätöksentekijälle ei välttämättä välity, miten preferenssi-informaatiota tuotetaan, vaikka ohjelmisto pyrkiikin informoimaan päätöksentekijää mahdollisimman hyvin muun muassa kriteeritasotaulukoiden sekä jatkuvasti tallentuvan prosessilokin avulla.

Kriteeripainoihin liittyvän preferenssi-informaation suhteen jäljelle jäävät menetelmät ovat hyvin samantyyllisiä, minkä vuoksi niiden välille ei voida tehdä suuria eroja. SWING ja PRIME Decisions – ohjelmistot lienevät kuitenkin päätöksentekijälle mielekkäämpiä, koska niissä tarjotaan ohjeita verrata kaikkia muita kriteerejä 100 pisteen parhaaseen tasoon. Vastaavasti Visual PROMETHEE:ssa pisteytysten tulkinta on erilainen ja epämääräisempi kuin MAVT-menetelmissä, mikä vaikeuttaa sen merkityksen hahmottamista.

Kriteerien itsenäisen arvottamisen suhteen PRIME Decisions tarjoaa Smart-Swapsin lisäksi käytännönläheisen ja selkeän lähestymistavan, etenkin jos päätöksentekijä määrittelee kriteerit vain ordinaalisessa järjestyksessä. Lisäinformaation tuottaminen kardinaalista järjestystä ja ylä- sekä alarajoja käyttäen johtaa jo selvästi vaikeasti hahmotettavampaan tilanteeseen. Web-HIPRE:n kriteeriarvojen määrittäminen scoreina tai arvofunktiona on näennäisen helppoa, mutta vaatii päätöksentekijältä kuitenkin jonkinasteista käsitystä päätösanalyysin matemaattisesta puolesta, jotta tulokset todella vastaisivat hänen preferenssejään. Visual PROMETHEE:n preferenssifunktiot ovat sen sijaan asiaan perehtymättömälle päätöksentekijälle jo merkittävästi vaikeampia hahmottaa. Toisaalta ne tarjoavat erilaisen lähestymistavan, koska preferenssifunktiot antavat mahdollisuuden siihen, etteivät tietynkokoiset muutokset scoreissa vielä muuta päätössuosituksia. Tämä tarkoittaa, että osaava päätöksentekijä pystyy hyödyntämään muista menetelmistä poikkeavasti epätäydellistä preferenssi-informaatiotaan päätöksenteon tukena.

Preferensseistä puhuttaessa on erityisesti huomioitava, että vaikka niiden syöttäminen ohjelmistolle vaikuttaisi näennäisen yksinkertaiselta teknisessä mielessä, voi niiden määrittelemisen olla päätöksentekijän itsensä kannalta haastavaa ja aikaa vievää. Teknisessä mielessä aikaa vievin menetelmä preferenssien määrittämisen suhteen lienee PRIME Decisions. Siihen implementoitu elicitation tour on hyvä ja ohjaava prosessi, mutta sisältää useita vaiheita, jolloin etenkin tehtävän

koon kasvaessa tähän vaaditaan myös paljon aikaa. Kriteeripainojen määrittämisen suhteen kaikki menetelmät ovat samaa luokkaa päätöksentekijältä vaaditun ajan kannalta. Kokonaisuutena päätöksentekijä pääsee helpoiten preferenssi-informaation ajankäytön suhteen käyttämällä Smart-Swaps-ohjelmistoa. Siinä päätöksentekijä tulee vaihtokauppojen kautta määrittelleeksi samanaikaisesti sekä kriteeritasoihin että kriteeripainoihin liittyvät preferenssinsä, ja riippuen tietenkin toimintavaihtoehtojen dominanssirakenteista, tämä voi sujua kohtuullisen nopeastikin. Toisaalta jos dominansseja tai irrelevantteja kriteerejä on vaikea löytää, eli päätösvaihtoehtosuosituksen löytyminen kestää, menetelmä on tietysti aikaa vievä. Lisäksi on todettava, että Visual PROMETHEE soveltuu parhaiten käytettäväksi tilanteissa, jossa kriteeritasojen keskinäiset erot ovat suuria, sillä muutoin preferenssifunktioiden määrittäminen vaatii päätöksentekijältä tarkempaa suunnittelua, sillä pienten erojen suhteen ohjelmisto ei pysty tekemään lainkaan eroa preferenssifunktioita käyttämällä [Visual PROMETHEE Manual 2012, <http://www.promethee-gaia.net/files/VPManual.pdf>].

7.2.3. Menetelmän tuottamat tulokset

Taulukossa 3 on esitetty kootusti, minkälaisia tuloksia kullakin tutkituista menetelmistä saadaan. Web-HIPRE -ohjelmistoa sekä SWING-menetelmää käytettäessä kaikille toimintavaihtoehdoille saadaan paremmuusjärjestys, joka myös kertoo kuinka paljon parempi kukin vaihtoehto on muihin verrattuna. Tulokset saadaan graafisesti palkkidiagrammina sekä numeroarvoina. Myös PRIME Decisions tuottaa vastaavanlaista informaatiota, tosin tarkkojen lukujen sijaan intervaleina. Tällöin lopulliseen päätöksentekoon vaaditaan yleensä myös lisäinformaatiota, kuten kuvassa 8 on esitetty. Samankaltaisiin tuloksiin johtaa myös Visual PROMETHEE -ohjelmiston PROMETHEE II – menetelmä. Toimintavaihtoehdoille saadaan paremmuusjärjestys, sekä ”kokonaisvirtauslukuarvot” vertailuun, joita voidaan tarkastella myös graafisesti yksiuolotteisella asteikolla kuvien 15 ja 16 esittämällä tavalla. Kuvassa 15 esitetyt PROMETHEE I – menetelmän tuottamat outranking-virtaukset eivät sellaisenaan riitä määrittelemään kaikkien toimintavaihtoehtojen kokonaisjärjestystä, vaikka ovatkin muodoltaan samanlaiset kuin PROMETHEE II – tulokset.

Taulukko 3: Tutkittujen ohjelmistojen ja niissä hyödynnettävien menetelmien tuottamat tulokset.

Menetelmä ja ohjelmisto	Tulokset
SWING/ Web-HIPRE	Toimintavaihtoehtojen kardinaalinen paremmuusjärjestys (taulukko 1)
PRIME / PRIME Decisions	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kelvollisten toimintavaihtoehtojen joukko arvojen mahdollisina vaihteluväleinä (kuva 6) 2. Dominanssirelaatiot (kuva 7) 3. Neljän eri päätöksentekosäännön ehdottama paras toimintavaihtoehto sekä PLV (kuva 8)
Even swaps / Smart-Swaps	Kelvollisten toimintavaihtoehtojen joukko ennen vaihtokauppojen tekemistä (kuva 11) sekä näiden jälkeen paras toimintavaihtoehto ja tämän dominanssit muihin vaihtoehtoihin nähden
PROMETHEE I & II / Visual PROMETHEE	<ol style="list-style-type: none"> 1. PROMETHEE I:llä dominanssirelaatiot vaihtoehtojen välillä (myös ”vertailukelvottomuus”, mikäli $\Phi^+(x)$ ja $\Phi^-(x)$ tuottavat ristiriitaisia tuloksia) (kuva 16) 2. PROMETHEE II:lla toimintavaihtoehtojen kardinaalijärjestys (kuva 16)

Mikäli pelkästään vaihtoehtojen keskinäiset dominanssirelaatiot ja yhden vaihtoehdon löytäminen ovat tutkittavan tilanteen kannalta riittäviä tuloksia, voidaan käyttää PRIME Decisions -ohjelmistoa tai PROMETHEE I -menetelmää. Vastaavanlaiseen yhteen päätössuosituksen päädytään myös, jos käytetään Smart-Swaps -ohjelmistoa, minkä lisäksi voidaan tarkastella, miten valittu vaihtoehto dominoi muita vaihtoehtoja (absoluuttinen dominanssi vai käytännöllinen dominanssi).

7.2.4. Menetelmän laskennalliset ominaisuudet

Kun edellä esitellyt osa-alueet, eli varsinainen tutkimustilanne sekä päätöksentekijän preferenssit on määritelty, ohjelma laskee niiden pohjalta ehdottamansa toimintavaihtoehdon. Yksinkertaisuutensa vuoksi Web-HIPRE -ohjelmistolla laskenta-aikaa ei kulu mallin ratkaisemiseen juuri lainkaan. Monimutkaisemmalla PRIME Decisions -ohjelmistolla laskenta-aika riippuu tehtävän koosta, ja on likimäärin verrannollinen kolmanteen potenssiin tehtävässä syntyvien LP-tehtävien lukumäärään nähden [Gustafsson, Salo & Gustafsson, 2001]. Myös Smart-Swapsin taustalla toimiva preferenssiohjelmointi vaatii LP-ongelmien ratkomista. Kyseisessä ohjelmistossa alle kymmenen kriteerin tehtävät ratkotaan tehokkaasti graafien käyttöön perustuvalla algoritmilla, kun taas tätä suuremmat perinteisellä Simplex-menetelmällä [Mustajoki & Hämäläinen, 2007]. Koska kyseisellä menetelmällä laskenta-aikaa kuluu aina kunkin vaihtokaupan kohdalla, eli menetelmä on iteratiivinen, sen laskentatehokuutta on hankalaa verrata esimerkiksi PRIME:n toimintaan. Laskenta-aika riippuu siis aina vaihtoehtojen keskinäisestä dominanssirakenteesta. Nykyisten tietokoneiden laskentatehokkuuksilla voitaneen kuitenkin todeta, ettei normaalikäytössä kohdattavien päätöksenteko-ongelmien koko vielä vaikuta ohjelmistojen laskentatehokkuuksiin niin paljon, että siitä syntyisi varsinaista ongelmaa. Visual PROMETHEE on laskenta-ajan suhteen Web-HIPRE-ohjelmiston luokkaa, sillä ohjelma ratkoo outranking-virtauksia reaaliajassa päätöksentekijän tekemien muutosten kanssa.

Edellä tarkastelluilla seikoilla ei ole suurta merkitystä, kun tarkastellaan päätöksenteko-ongelmia, joissa toimintavaihtoehtoja tai kriteereitä on vain vähän. Käytännön ongelmissa niiden määrä voi kuitenkin nousta suureksi, jolloin teknisellä vertailulla voidaan löytää sopivin menetelmä juuri tietynlaisen ongelman ratkomiseen. Kuten edellä mainittiin, toimintavaihtoehtojen ja kriteerien määrän kasvaessa on jo siitä hyötyä, että kriteeritasot voidaan syöttää taulukkomuotoisesti ohjelmiston ulkopuolelta, kuten Web-HIPRE:ssä ja PRIME Decisionsissa voidaan tehdä. Lisäksi on suotavaa, ettei preferenssien määrittäminen monimutkaistu liikaa ja ettei laskenta-aika kasva kohtuuttomasti. Näin voi käydä, jos vaihtoehtoja tai kriteereitä on paljon, sekä myös jos dominanssirakenteet ovat haastavia. Esimerkiksi PRIME Decisions -ohjelmiston laskennallisesta tehokkuudesta todetaan suoraan, että se soveltuu parhaiten ongelmille, joissa on melko vähän ei-dominoituja vaihtoehtoja, koska muuten menetelmän laskenta-aika kasvaa nopeasti [Gustafsson, Salo & Gustafsson, 2001]. Myös Smart-Swaps -ohjelmiston kohdalla todetaan, että seuraavien sopivien vaihtokauppojen löytäminen voi olla hankalaa, kun vaihtoehtojen ja kriteerien lukumäärä on suuri, jolloin iteraatiokierrosten määrä kasvaa ja dominanssirakenteiden löytyminen vaikeutuu [Mustajoki & Hämäläinen, 2007]. Kuitenkin mainitaan myös, että even swaps -menetelmä soveltuu helposti myös melko suurille päätöksenteko-ongelmille, kun sen tukena on Smart-Swapsin kaltainen informatiivinen menetelmä [Mustajoki & Hämäläinen, 2005].

7.2.5. Menetelmän käytettävyys ja ymmärrettävyys päätöksentekijän näkökulmasta

Se, että Web-HIPRE on Internet-pohjainen ohjelmisto takaa, että se on laajan yleisön käytettävissä, johon voi kuulua sekä kokeneita analyytikoita, että kokemattomampia käyttäjiä. Ohjelmiston käsitteet vaativat jonkin verran tietoa päätösanalyysistä, ja toisaalta edellyttävät, että päätöksentekijä ymmärtää määrittelemiensä parametrien ja preferenssien seuraukset. Ohjelmiston vahvasti visuaalinen käyttöliittymä kuitenkin auttaa päätöksentekijää läpi näiden vaiheiden, minkä lisäksi myös tulosten ja syy-seuraussuhteiden hahmottaminen on helppoa diagrammeja sekä herkkyysanalyysikuvaajia tarkastelemalla. Ohjelmiston ja menetelmän haittapuolena sen lievän teoreettisuuden lisäksi on tietenkin, että päätöksentekijän oletetaan olevan preferenssiensä suhteen täysin varma.

PRIME Decisions on edellä esiteltyyn Web-HIPRE & SWING -yhdistelmään verrattuna päätöksentekijän kannalta hankalammin hahmotettavissa kokonaisuutena, mutta siinä ei näennäisesti vaadita yhtä tarkkaa teoreettista ymmärrystä, koska määriteltävät parametrit ovat yksinkertaisempia. Menetelmässä ei oleteta, että päätöksentekijä osaisi ilmaista arvofunktoita tai suoria kriteeritasojen arvoja, eikä täsmällisiä kriteeripainoja. Ohjelmistona se on hieman monimutkaisempi käyttää, mutta tulokset vastannevat paremmin päätöksentekijän todellisia preferenssejä epätäydellisyysoletuksen vuoksi, olettaen että päätöksentekijä osaa kunnolla käyttää ominaisuutta. On kuitenkin huomioitava, että kriteeriarvoja määriteltäessä kardinaalinen järjestys voi aiheuttaa harhaa, koska numeeriset rajat voivat olla päätöksentekijän kannalta hankalia hahmottaa [Gustafsson, 1999]. Lisäksi jos kriteerejä tai vaihtoehtoja on paljon, pitkän elicitation tour -vaiheen kunnollinen suorittaminen voi olla haasteellista päätöksentekijän kyllästyessä. Lopullisen päätöksen tueksi tarjotut päätöksentekosäännöt sekä graafiset esitykset tukevat kuitenkin kokemattomampaakin päätöksentekijää hyvin. Lisäksi ne ovat intuitiivisia ja auttavat päätöksentekijää uskomaan menetelmän toimivuuteen.

Smart-Swaps soveltuu hyvin laajalle yleisölle, sillä se ei vaadi erityistä matemaattista mallinnuskykyä tai syvempää perehtymistä päätösanalyysiin, koska päätöksentekijän ei muun muassa tarvitse määritellä tarkasti preferenssejään eikä tehdä mitään oletuksia arvofunktioidensa muodosta. Lisäksi ohjelmisto tarkistaa, etteivät päätöksentekijät vaihtokaupat ole ristiriidassa keskenään. Toisaalta menetelmän tulokset ja päättelyketju eivät ole yhtä läpinäkyviä päätöksentekijän kannalta, kuin mihin perinteisessä MAVT-analyysissä on totuttu [Mustajoki & Hämäläinen, 2007]. Sen lisäksi että tuloksia on vaikea tulkita ja jäljittää tehtyihin vaihtokauppoihin, vaikuttaa siltä, että menetelmän tuloksiin voi herkästi syntyä harhaisuutta [Lahtinen, 2012]. Ohjelmistoon implementoitu loki auttaa hahmottamaan päätöksentekoprosessin kulkua, eli sitä miten lopputulokseen päädyttiin sekä korjaamaan mahdollisia vikavalintoja myös jälkikäteen, joka on tietynlaista herkkyysanalyysiä ja lisää ohjelmiston luotettavuutta päätöksentekijän silmissä. Lisäksi PROACT-jaottelu sekä vaihtokauppojen tekemiseen liittyvä jatkuvasti päivittyvä informaatio tukevat kokemattomaa päätöksentekijää. On kuitenkin mainittava, että vaikka vaihtokauppojen teko näennäisesti on yksinkertaista, päätöksentekijän saattaa niitä tehdessä olla hankalaa pitää mielessä kriteereiden suhteellista tärkeyttä sekä tekemiensä valintojen todellisia seurauksia. Lopputulos ei kuitenkaan välttämättä täysin vastaa päätöksentekijän preferenssejä. Tämä johtuu siitä, että vaihtokauppoja voi olla vaikeaa tehdä konsistentisti ilman, että jatkuvasti ajattelisi kuinka paljon tärkeämpää jonkin muutos verrattuna toiseen muutokseen on, mikä alkaa jo lähentyä arvofunktion

hahmottelua päätöksentekijän mielessä. Eräs ratkaisu voisi olla kriteeritasojen skaalauksen muuttaminen mahdollisimman yksinkertaiseksi. Esimerkiksi numeerisesta muodosta luopuminen voi helpottaa päätöksentekotilanteen hahmottamista. Tämä on jo nykyiselläänkin mahdollista, sillä ohjelmistoon voi luoda omia asteikkoja, mutta sitä ei ehkä tuoda esiin tarpeeksi, eikä sen toimivuutta tutkittu tässä työssä. Myös numeroiden syöttämisen vaikeus ko. ohjelmistoon tavallaan viittaa jo siihen, ettei sitä edes ole suunniteltu suurien numeeristen taulukoiden käsittelemiseen.

PROMETHEE-menetelmien vaatima preferenssi-informaatio on helppoa määrittellä ja ymmärtää niin tavalliselle päätöksentekijälle kuin päätösanalyttikollekin [Brans & Mareschal, 2005], vaikka toisaalta sen kriteeripainojen hankala tulkinta ja preferenssifunktioiden määrittely voisivat myös viitata päinvastaiseen. PROMETHEE-menetelmät perustuvat parivertailulle, joten päätöksentekijän ei tarvitse osata määrittellä omia arvofunktioitaan suoraan. Hänen on kuitenkin osattava määrittellä preferenssifunktio, jonka ymmärtäminen ei välttämättä ole helppoa. Päätöksentekijän on täytettävä funktiokohtaiset kynnyksparametrit ja hahmotettava näiden merkitys kunkin kriteerin kannalta. Lisäksi PROMETHEE-menetelmien kohdalla epätäydellinen preferenssi-informaatio koskee vain kriteeritasojen, eli kriteereiden sisäisiä arvoituksia. Kriteeripainot, eli näiden väliset arvotukset sen sijaan oletetaan annettavan täsmällisesti. Tämä on toki helppoa, mutta on kyseenalaista miten päätöksentekijä kykenee tämän tekemään, etenkin kun siihen ei anneta vertailua helpottavaa vertailukohtaa, kuten esimerkiksi edellä esitellyissä SWING- ja PRIME-menetelmissä tehdään, eikä painoille voida myöskään esittää samanlaista tulkintaa. Kuten edellä esitellyt ohjelmistot, myös Visual PROMETHEE tarjoaa päätöksentekijän tueksi graafisia tuloksia sekä herkkyyksianalyysityökaluja, jotka auttavat tilanteen ja siihen liittyvien syy-seuraussuhteiden hahmottamisessa sekä saavat päätöksentekijän uskomaan päättelyketjuun ja sen tuloksiin.

8. Yhteenveto

Työssä tarkasteltujen päätöksenteon tukimenetelmien voidaan havaita tuottavan keskenään samankaltaisia tuloksia päätösuosituksesta. Työssä käytetyn sotilasoperaation osalta tämä tarkoitti toimintavaihtoehtoja suojauskohde ”Voimala 1” & ilmataistelutaktiikka ”C” tai suojauskohde ”Tukikohta” & ilmataistelutaktiikka ”C”. Lisäksi huomataan myös, että epätäydellisen preferenssi-informaation käyttömahdollisuus vaikuttaa tuloksiin ja tuo täten päätöksentekijälle oleellista lisäinformaatiota päätöksenteon tueksi. Näin ollen, kun oletetaan, että päätöksentekijä ei välttämättä kykene ilmaisemaan preferenssejään täsmällisesti, tätä huomioon ottamattomien menetelmienkään ei välttämättä voida olettaa johtavan täysin luotettavaan tuloksiin.

Suurimmat erot tutkittujen menetelmien välillä liittyvät niiden vaatimaan preferenssi-informaation sekä siihen liittyvän mahdollisen epätäydellisyyden ilmaisutapaan. Tutkituista menetelmistä ensimmäinen, SWING/Web-HIPRE, ei salli epätäydellisiä preferenssejä lainkaan. PRIME/PRIME Decisions ja Even Swaps/Smart-Swaps sen sijaan sallivat epätäydelliset preferenssit sekä kriteerien arvotuksen että niiden painojen suhteen. Eroina näidenkin välillä kuitenkin on, miten preferenssi-informaatio annetaan. Prime Decisionsissa tämä tapahtuu elicitation tour – työkalun sekä SWING-tyyppisen intervallipisteityksen avulla, kun taas Smart-Swapsissa kummatkin voidaan tehdä vaihtokauppojen avulla. Viimeisin menetelmä, PROMETHEE I & II/Visual PROMETHEE, sallii

epätäydellisen informaation vain kriteeriarvoihin liittyen, joka tapahtuu menetelmälle ominaisia preferenssifunktioita hyväksikäyttäen. Kriteeripainojen sen sijaan oletetaan olevan täsmällisiä.

Myös ohjelmistojen tuottamien tulosten muodot vaihtelevat. Menetelmästä riippuen on mahdollista saada paremmuusjärjestys koko joukolle (Web-HIPRE, PROMETHEE II), tai vain yksi päätössuositus (Smart-Swaps, PRIME Decisions). Käytettävä menetelmä olisikin aina valittava tutkittavan päätöksentekotilanteen tavoitteiden mukaisesti. Päätöksentekijän preferenssi-informaation mukaisesti valittu paras vaihtoehto voi riittää, mutta joissain tapauksissa päätöksentekijää voi kiinnostaa myös kaikkien päätösvaihtoehtojen suhteellinen paremmuusjärjestys.

Valittavaan menetelmään vaikuttaa oleellisesti myös se, kykeneekö päätöksentekijä suorittamaan koko päätöksentekoprosessin loppuun ja ymmärtääkö hän tekemiensä valintojen vaikutukset saatavaan lopputulokseen. Päätöksentekijän kannalta eräs tärkeimmistä seikoista on se, että käytettävän ohjelmiston käyttöliittymä on toimiva. Vaikka menetelmä muutoin olisi muutoin uskottava, ei se ole käyttökelpoinen mikäli päätöksentekijä ei jaksaa tai kykene käyttämään sitä oikein. Helppokäyttöisyys, visuaalisuus ja kriteeritasojen ulkopuolisesta ohjelmasta tuominen ovat tähän tärkeimpiä työkaluja. Preferenssien määrittämisen suhteen päätöksentekijälle tulisi tarjota riittävän paljon oleellista informaatiota. Liiallisen informaation tarjoaminen kokemattomalle päätöksentekijälle voi kuitenkin myös vaikeuttaa päätöksentekotilanteen hahmottamista ja menetelmän käyttämistä. Menetelmän implementoivasta ohjelmistosta tulisikin löytyä useita vaihtoehtoisia käyttötapoja, esimerkiksi yksinkertaisia graafisia työkaluja, tai monimutkaisempia arvofunktioiden määrittämiä. Esimerkiksi arvofunktioiden määrittäminen voi olla käyttäjälle hyvin vaikeaa, ellei ohjelma ole tarkoitettu asiantuntijoiden käyttöön. Myös numeroiden vertailusta luopuminen ja siirtyminen helpommin hahmotettaviin sanallisiin skaaloihin saattaa lisätä käyttömukavuutta. Lisäksi erilaiset herkkyysanalyysityökalut, mieluiten helppokäyttöiset ja graafiset, varmistavat, että päätöksentekijä ymmärtää prosessin kulkua.

Menetelmän valinnan kannalta myös päätöksentekotilanteen koolla on merkitystä. Paljon kriteerejä tai toimintavaihtoehtoja sisältävä tilanne saattaa vaikuttaa niin menetelmän yleiskäytettävyyteen kuin laskentatehokkuuteenkin. Myös tutkimustilanteen keskinäisillä dominanssirakenteilla on vaikutusta. Esimerkiksi Smart-Swaps ei välttämättä sovellu tällaisten tehtävien ratkomiseen kovinkaan hyvin, kun taas Web-HIPRE tai Visual PROMETHEE tuottavat nopeastikin tuloksia.

Kaiken kaikkiaan päätöksenteon tukimenetelmä tulisi valita sen mukaisesti, minkälaista tilannetta ollaan tutkimassa ja minkälaisia tuloksia sillä halutaan saavuttaa. Lisäksi on hyvä, jos tuloksia voidaan tarkastella kriittisesti esimerkiksi usean menetelmän avulla tai epätäydellisiä preferenssejä hyödyntäen.

Lähteet

- Brans, J.P., Mareschal, B., PROMETHEE Methods, in Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (eds.), Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, 2005, pp. 163 - 196.
- Clemen, R. T., Making Hard Decisions: An Introduction To Decision Analysis. Duxbury Press, Belmont, California, USA, 1996
- Gustafsson T., A Comparison of PRIME Decisions with Other Tools for Decision Analysis, Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology
- Gustafsson, J., Salo, A., Gustafsson, T., PRIME Decisions: An Interactive Tool for Value Tree Analysis, in Köksalan M., Zionts S. (eds.), Multiple Criteria Decision Making in the New Millennium, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 507, Springer-Verlag, Berlin, 2001, pp. 165 – 176
- Hammond J.S., Keeney R.L, Raiffa H., Even Swaps: a Rational Method for Making Trade-Offs, Harvard Business Review 76(2), 1998, pp. 137 – 149
- Hammond J.S., Keeney R.L, Raiffa H., Smart Choices, A Practical Guide to Making Better Decisions, Harvard Business School Press, Boston, MA 1999
- Keeney, R. L., Decision Analysis: An Overview, Operations Research, 30(5), 1982, pp. 803-838
- Keeney, R. L., Raiffa H., Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley and Sons, Inc., Cambridge: Cambridge University Press, 1976
- Lahtinen, T., Path Dependency in the Even Swaps process, Independent Research Project in Applied Mathematics, Aalto University, Systems Analysis Laboratory 2012
- Mustajoki, J., Hämäläinen, R.P., Web-HIPRE: Global Decision Support by Value Tree and AHP Analysis, INFOR 38(3), 2000, pp. 208 - 220
- Mustajoki, J., Hämäläinen, R.P., A Preference Programming Approach to Make the Even Swaps Method Even Easier, Decision Analysis 2(2), 2005, pp. 110 - 123
- Mustajoki, J., Hämäläinen, R.P., Smart-Swaps – A Decision Support System for Multicriteria Decision Analysis with the Even Swaps Method, Decision Support Systems 44, 2007, pp. 313 - 325
- Pousi, J., Decision Analytical Approach to Effects-Based Operations, Master's Thesis, Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory, 2009
- Roy B., Paradigms and Challenges, in Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (eds.), Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, 2005, pp. 3 - 18.

Salo, A., Hämäläinen, R.P., Preference Ratios in Multiattribute Evaluation (PRIME) – Elicitation and Decision Procedures Under Incomplete Information, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans 31(6), 2001

Salo A., Hämäläinen R.P. Preference Programming - Multicriteria Weighting Models under Incomplete Information In: Zopounidis, C. and Pardalos, P.M. (eds.), Handbook of Multicriteria Decision Analysis, Springer, New York, 2009, pp. 167-187

Stewart, T. J., A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice, OMEGA Int. J. of Mgmt Sci., 20(5-6), 1992, pp. 569-586

Visual PROMETHEE Manual, <http://www.promethee-gaia.net/files/VPManual.pdf> (31.8.2012)

von Winterfeldt, D., Edwards, W., Decision Analysis and Behavioral Research, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1986

Liitteet

1. Päätösongelman kriteeritasot eri toimintavaihtoehdoille
2. Smart-Swaps lokitiedosto (karsittu)