

# **EVOLUTIIVISEN PELITEORIAN FILOSOFINEN ARVO**

**Filosofinen katsaus evolutiivisen peliteoriaan**

**Lauri Vanhanen**

**Pro gradu- tutkielma**

**Filosofia**

**Yhteiskuntatieteiden**

**ja filosofian laitos**

**Humanistisyhteiskuntatieteellinen**

**tiedekunta**

**Jyväskylän yliopisto**

**Kevät 2019**

Lauri Veli Vanhanen  
Pro gradu -tutkielma  
Jyväskylän yliopisto  
Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos  
Helmikuu 2019  
Työn ohjaajat: Mikko Yrjönsuuri ja John Pajunen  
57 sivua ja 0 liitettä

---

## TIIVISTELMÄ

Tutkin työssäni evolutiivista peliteoriaa ja tutkimukseni vastaa kysymykseen: miten evolutiivista peliteoriaa voidaan hyödyntää yhteistyötä koskevien ilmiöiden filosofisessa tarkastelussa.

Tutkimukseni jakaantuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa esittelen aluksi evoluutio-käsitteen, jota käytän tutkimuksessa sen laajassa merkityksessä. Tämän jälkeen esittelen klassisen peliteorian ja evolutiivisen peliteorian tutkimusalueet, peliteoreettisten pelien rakenteen ja aihepiirin keskeisimpiä käsitteitä. Esitän myös peliteorian metodologiaan liittyviä haasteita. Tämän jälkeen esittelen lyhyesti evolutiivisen peliteorian historian ja John Maynard Smithin merkittävimpiä havaintoja evolutiivisesti stabiileista strategioista.

Tutkimuksen toisessa osassa analysoin Brian Skyrmsin evolutiiviseen peliteoriaan kohdistuvaa kirjallisuutta. Analysoin Skyrmsin kirjallisuudessa keskeisessä osassa olevaa klassisessa peliteoriassakin tunnettua hirvenmetsästyspeliä. Hirvenmetsästyspeli on asetelmaltaan erinomainen peli tutkia yhteistyön kehittymistä ja kahden Nashin tasapainon väliltä toiseen siirtymistä evolutiivisen peliteorian mallein.

Tutkimuksen kolmannessa osassa analysoin kollektiivista toimintaa ja vapaamatkustajan ongelmaa itse kehittämäni evolutiivisen pelin näkökulmasta. Pelistä käy ilmi, että asetelma, missä palkitaan enemmän yhteistyöstä kuin tämä saa etua vapaamatkustamisesta, pelissä muodostuu yhteistyön tasapaino ja vapaamatkustus ilmiönä katoaa pelin populaatiosta.

**Avainsanat:** Evolutiivinen peliteoria, Nashin tasapaino, evolutiivisesti stabiili strategia, yhteistyö, vapaamatkustajan ongelma

# SISÄLLYS

- 1.1 Tutkimuskysymyksen ja lähdeaineiston esittely**
- 1.2 Evoluutio-käsitteen käytöstä ja alkuperästä**
- 1.3 Peliteorian perusta, metodi ja käsitteistöä**
- 1.4 Vangin dilemma ja Nashin tasapaino**
- 1.5 Evolutiivisen peliteorian alkuperästä ja haukka ja kyyhky-peli**
  - 2 Brian Skyrms ja hirvenmetsästys evolutiivisessa peliteoriassa**
    - 2.1 Hirvenmetsästyspeli peliteorian sovelluksena**
    - 2.2 Lokaation ja vuorovaikutuksen merkitys hirvenmetsästyspelissä**
  - 3 Signaalit, sopimukset ja koordinaatiopelit**
    - 3.1 Sopimukset**
    - 3.2 Signaalit ja signaalijärjestelmät**
    - 3.3 Signaalit ja halpa puhe hirvenmetsästyspelissä**
    - 3.4 Assosiaatiot, vuoronvaikutuksen kehitys ja Skyrmsin johtopäätökset**
- 4. Sosiaalisten dilemموjen peliteoreettinen problematisointi**
  - 4.1 Sosiaaliset dilemmat ja vapaamatkustajan ongelma**
  - 4.2 Yhteisen ja yksilön edun välinen ongelma**
  - 4.3 Goldstone varmuuspelin tarkastelua evolutiivisen peliteorian avulla**
- 5 Yhteenveto**
- Lähteet**

## 1.1 Tutkimuskysymyksen ja lähdeaineiston esittely

Tässä tutkimuksessa käsittelen evolutiivista peliteoriaa filosofisesta näkökulmasta. Tutkimuksessani vastaan kysymykseen, miten evolutiivista peliteoriaa voidaan hyödyntää yhteistyötä koskevien ilmiöiden filosofisessa tarkastelussa. Evolutiivisen peliteorian sijoittuen pääasiassa matematiikan, mutta osittain myös biologian, taloustieteen ja yhteiskuntatieteiden kentälle, esittelen tutkimuksessa joitakin muidenkin tieteenalojen kehittämiä teorioita. Yksi tämän tutkimuksen tavoitteista onkin osoittaa miten evolutiivista peliteoriaa on sovellettu eri tieteenaloilla ja miksi juuri evolutiivisen peliteorian metodia sietäisi tutkia tarkemmin. Tutkimuksen seuraaminen ei kuitenkaan lukijalta laajamittaista tieteenalojen ymmärrystä, koska tutkimuksen pääpaino on evolutiivisen peliteorian tarkasteluun metodina. Tutkimuksessa tarkastellaan myös miten evolutiivista peliteoriaa metodina voidaan kehittää entistä paremmaksi ja kattavemmaksi.

Tutkimus sisältää huomattavan paljon peliteoreettista käsitteistöä. Esittelen käsitteitä valikoidusti siten, että niiden avulla lukija saa lyhyen filosofisen perehdytyksen käsitteisiin. En siis juurikaan käsittele peliteoreettisten käsitteiden matemaattisia todistuksia, koska ne eivät ole tutkimuksen ymmärtämisen kannalta oleellisia ja kirjoittajan omat matemaattiset lahjat eivät siihen riittäisi. Tutkimuksen rakenteen loogisuuden vuoksi käsittelen tämän sisällön tutkimuksen alussa.

Tutkimuksen edetessä tutustutaan evolutiivisen peliteorian esimerkkeihin John Maynard Smithin ja Brian Skyrmsin kautta ja käytän valittuja teoksia heidän tekemästään tutkimuksesta tämän tutkimuksen päälähteinä. John Maynard Smithin tausta on biologiassa ja häntä pidetään evolutiivisen peliteorian varsinaisena kehittäjänä, hänen sovellettuaan klassista peliteoriaa evoluutiobiologiaan.

Brian Skyrmsin tausta puolestaan on filosofiassa ja hän on tutkinut evolutiivisen peliteorian filosofisia аспекteja. Skyrms on lisäksi erikoistunut tieteen filosofiaan ja induktiivisen logiikan filosofiaan. Skyrms on tehnyt merkittäviä filosofisia havaintoja evolutiivisen peliteorian suhteen hirvenmetsästyspelistä, jota on tutkittu myös klassisessa peliteoriassa. Skyrms esittää filosofiset havaintonsa helposti käsitettävässä muodossa, joka kylläkin edellyttää lukijalta hieman matemaattista ymmärrystä, mutta pääpaino on pelien filosofisessa luonteessa ja lopputuloksien filosofisissa seurauksissa, ei niinkään pelien matemaattisessa ratkaisussa. Kiinnostava filosofinen kysymys, johon tutkimuksessa tullaan vastaamaan on miten populaation keskuudessa yhteistyö voi kehittyä evolutiivisen peliteorian malleilla tarkasteltuna ja tämä on kysymys, johon Skyrms tarjoaa kattavan vastauksen. Rajaan siis evolutiivisen peliteorian suhteen filosofisen tarkasteluni

Skyrmssiin ja tarkemmin hänen teokseensa *The Stag Hunt and the Evolution of Social Structure* (2004).

Tutkimuksen lopussa tarkastelen sosiaalisia dilemmoja ja niiden keskuudessa yleistä vapaamatkustajan ongelmaa, joka on vahvasti kytkeytynyt kollektiiviseen toimintaan. Esittelen mitä kollektiivisella toiminnalla yleisesti tarkoitetaan ja käyn käsittelen lyhyesti ammattiliittoja kollektiivisen toiminnan mahdollistavina ryhminä. Tämän jälkeen tarkastelen kapinallisen toiminnan edellytyksiä kollektiivisen toiminnan esimerkkinä Gordon Tullockin ja Jack Goldstonen artikkelien näkökulmasta. Lopuksi tarkastelen vapaamatkustajan ongelmaa itse luomassani evolutiivisessa varmuuspelissä. Esitän varmuuspelin pohjalta myös kriittiset huomautukseni, jotka koskevat erilaisten ilmiöiden tarkastelua peliteoreettisessa kontekstissa.

## 1.2 Evoluutio-käsitteen käytöstä ja alkuperästä

Evoluutio on käsitteenä monille tuttu, mutta käsittelen lyhyesti mitä se merkitsee tämän tutkimuksen yhteydessä ja hieman käsitteen historiaa. Alkuperäinen evoluution käsite yhdistetään yleensä Charles Darwiniin (1809—1882) ja hänen teoriaansa lajien synnystä, mutta kuuluisassa teoksessaan *On The Origin of Species by Means of Natural Selection* (1859) Darwin käyttää termiä "evolved" vain kirjan viimeisessä kappaleessa<sup>1</sup>. Termi "evolution" on kuitenkin ollut olemassa jo ennen Darwinia<sup>2</sup> ja termin merkitys on kehittynyt ajan mittaan. Evoluutio yleiskäsitteenä tyypillisesti nykypäivänä ymmärretään viittaamaan biologian evoluutioteoriaan, joka kuitenkin perustuu Darwinin teokselle.

Evoluution käsite ei kuitenkaan rajoitu kuvaamaan pelkästään eliöiden biologista kehitystä. Evoluution käsite on venytetty käsittämään lähes kaikenlaista kehitystä, joka perustuu valintamekanismeille. Valintamekanismit puolestaan voivat olla joko luonnollisia tai keinotekoisia. Luonnollisista valintamekanismeista kenties tunnetuin on luonnonvalinta, jonka mukaan hyödylliset ominaisuudet yksilöillä runsastuvat ja periytyvät eteenpäin jälkipolville paremmin kuin haitalliset ominaisuudet. Keinotekoisista valintamekanismeista hyvin tunnettu esimerkki on jalostus, jossa ihminen pyrkii suoraan vaikuttamaan siihen mitkä ominaisuudet periytyvät eteenpäin.

Evoluution käsitettä tämän tutkimuksen ja evolutiivisen peliteorian yhteydessä sovelletaan ajatuksella, että evoluutio ja valintamekanismit voidaan ulottaa myös yhteiskuntaan ja kulttuuriin.

1 Lähteenä käytetty digitaalista 1997 painosta, jolle tein sanahaun termeille "evolution" ja "evolve". Kirjoittaja ei ole lukenut teosta kokonaan.

2 Lähde: <https://www.etymonline.com/word/evolution> Luettu 10.01.2019.

Kontekstin kannalta on olennaista ymmärtää, että tulen tämän tutkimuksen yhteydessä tulen käyttämään evoluution käsitettä sen laajassa mielessä, viitaten asteittaiseen muutosprosessiin, kuten evolutiivista peliteoriaa käsittelevässä kirjallisuudessa on tapana (Sandholm, 2010, 14—15). Evoluution käsitettä ei siis tule tämän tutkimuksen yhteydessä ymmärtää darwinilaisen luonnonvalintateorian tai kelpoisimman eloonjäämisen niukassa merkityksessä.

Yksi keskeinen yhteys Darwinin teorian ja evolutiivisen peliteorian välillä koskee kuitenkin käsitettä darwinilainen kelpoisuus. Käyttöyhteydeltään kyseinen käsite vastaa evolutiivisen peliteorian peleissä klassisen peliteorian termiä hyödyke tai hyöty, mutta käsitteiden välillä on myös merkittäviä eroja. Biologiassa darwinilainen kelpoisuus on suhteellinen mittayksikkö, jolla mitataan kuinka hyvin organismi onnistuu lisääntymällä siirtämään omat geeninsä tulevan sukupolven geenipooliin<sup>3</sup>. Evolutiivisen peliteorian yhteydessä käsite tyypillisesti säilyttää merkityksensä kun pelien agentit ovat eläimiä ja viittaa siihen miten paljon eläimen selviytymismahdollisuudet ja kyky tuottaa jälkeläisiä muuttuvat pelin myötä. Kaikki evolutiivisen peliteorian sovellukset eivät kuitenkaan rajoitu käyttämään lopputulostensa ilmoittamiseen darwinilaista kelpoisuutta, vaan pitäytyvät klassisen peliteorian hyötyfunktiossa<sup>4</sup>. (Sandholm 2010, 13.)

Keskeinen käsite, joka evolutiivisen peliteorian ja tämän tutkimuksen yhteydessä esiintyy on replikaattoridynamiikka. Termin ovat kehittäneet Taylor ja Jonker artikkelissa "*Evolutionary Stable Strategies and Game Dynamics*"<sup>5</sup> ja termi on vakiintunut evolutiiviseen peliteoriaan (Weibull 1996, 69). Richard Dawkinsin (2006, 12—20) mukaan termillä replikaattori viitataan DNA-molekyyliin, jolle kehittyi joskus kauan kauan sitten evoluution alkuaikoina kyky luoda kopioita itseään eli tuottaa replikoita. Dawkins esittääkin, että replikaattorit (joista nykyään puhutaan myös geneinä) joutuivat kuvainnollisesti taistelemaan säilymisestään toisia replikaattoreita vastaan ja darwinilaiset selektiomekanismit selittävät millä perusteilla toiset replikaattorit onnistuivat selviytymään ja vakiintumaan. Vakiintuneet replikaattorit rupesivat valmistamaan itselleen säiliöitä, joissa ne pystyvät säilymään. Näitä säiliöitä Dawkins nimittää selviytymiskoneiksi, joita ovat esimerkiksi ihmiskeho. Kun siis evolutiivisessa peliteoriassa käytetään termiä replikaattoridynamiikka, sillä tarkoitetaan selektiomekanismia, joka määrittää mitkä strategiat (jotka ovat peleissä replikaattoreita) periytyvät eteenpäin seuraaville sukupolville ja sen avulla voidaan tarkastella miten strategiat kehittyvät populaatioissa. Weibullin (1996, 69) mukaan replikaattoridynamiikkaan evolutiivisen peliteorian yhteydessä sisältyy oletus, että strategiat periytyvät täydellisesti sukupolvelta toiselle tai imitoidessa toisten strategioita yksilöt osaavat kopioida toisten yksilöiden strategioita täydellisesti.

3 Lähde: [https://www.biology-online.org/dictionary/Darwinian\\_fitness](https://www.biology-online.org/dictionary/Darwinian_fitness) Luettu 22.11.2018.

4 Hyötyfunktio selitetään seuraavassa luvussa.

5 Julkaistu alunperin journalissa *Mathematical Biosciences* 40 (1978): 145—156.

Tämä on yksi seikka, jonka suhteen evolutiivinen peliteoria ei täysin vastaa biologian evoluutioteoriaa, koska mm. Dawkins (2006, 17—19) huomauttaa, että replikaatioprosessissa voi tapahtua epäonnistumisia.

### **1.3 Peliteorian perusta, metodi ja käsitteistöä**

Klassinen peliteoria sai ensimmäiset tunnetut muotoilunsa matemaatikko John von Neumannin toimesta 1920-luvulla. Von Neumannin ja Oskar Morgensternin alunperin vuonna 1944 julkaistua teosta *Theory of Games and Economic Behavior* pidetään peliteoriaksi määritellyn tutkimusalan ensimmäisenä suurena ja merkittävänä teoksena, josta monet myöhemmät teoriat ja käsitteet peliteoriassa ovat saaneet perustansa (McKinsey 1952, 16). En tässä tutkimuksessa perehdy kyseisen teoksen sisältöihin, mutta teoksen anti tutkimusalalle on niin merkittävä, että se tulee mainita heti aluksi.

Klassinen peliteoria on soveltavan matematiikan osa-alue, jonka tutkimuskohteena ovat pelit ja pelaajien mahdolliset valinnat peleissä. Peliteoriassa tutkitaan pelaajien, joista käytetään myös termiä agentti, välistä kanssakäymistä, jota tyypillisesti kuvataan matemaattisilla malleilla. Peliteorian tarkoitus on selvittää miten rationaaliset pelaajat voivat strategiansa avulla päätyä kulloinkin kyseessä olevassa pelissä itsensä kannalta optimaaliseen lopputulokseen. Klassisen peliteorian oletuksiin kuuluvalla rationaalisella pelaajalla tarkoitetaan toimijaa, joka omaa kyvyn päätellä loogisesti parhaan vaihtoehdon, jolla hän maksimoi oman hyötynsä kyseisessä pelissä, tiedostaen myös samalla, että hänen kanssapelaajansa kykenevät vastaavaan päättelyyn. Peliteoriassa pelaajien soveltamaa päättelyä kutsutaan myös instrumentaalisen rationalismin periaatteeksi tai rationaalisen valinnan teoriaksi. Olennainen seikka peliteorian pelaajista on se, että pelaaja ei välttämättä ole yksilö tai yksityishenkilö, vaan peleissä pelaajat voivat olla esimerkiksi kotitalouksia, yrityksiä, poliittisia ryhmiä tai valtioita ja niin edelleen. Klassista peliteoriaa sovelletaan erityisesti matematiikan, taloustieteen ja yhteiskuntatieteiden osa-alueilla. (Lambertini 2011, 11; Risjord 2014, 81—82; Ross 2016)

Taloustieteissä ja peliteoriassa esitelty instrumentaalisen rationalismin periaate on saanut osakseen myös paljon kritiikkiä. Yksi tyypillinen kritiikinaihe teorialle on ollut se, että todellisuudessa toimivat ihmiset eivät toimi instrumentaalisen rationalismin periaatteen mukaisesti, vaan saattavat joskus tehdä irrationaalisia valintoja. Toinen kriittinen huomautus koskee teorian suhteen sitä, että teorialla voidaan vain mallintaa toimijoiden tyypillistä tai odotettua käyttäytymistä, ei toimijoiden aitoa käyttäytymistä. Kritiikissä ollaan korostettu mm. että täysin taloudellisesti ajatteleva ihminen

(josta on myös käytetty termiä *homo economicus*) on sosiaalisilta kyvyiltään täysin kehno. (Risjord 2014, 106—108)

Kritiikkiin on kuitenkin myös vastattu. Esimerkiksi Jaakko Kuorikoski ja Aki Lehtinen artikkelissaan *Unrealistic Assumptions in Rational Choice Theory* (2007) esittävät, että rationaalisen valinnan teorialle perustuvan kritiikin tulisi kohdistua pikemminkin siihen, että sisältääkö jokin partikulaari malli joitakin epärealistisia oletuksia. Olennaisesti kritiikin tulisi Kuorikosken ja Lehtisen (2007) mukaan osoittaa, että ovatko tietyn mallin kohdalla malliin sisällytetyt epärealistiset oletukset suoraan yhteydessä mallilla tuotettuihin lopputuloksiin. Mikäli epärealistisilla oletuksilla on selkeä yhteys tuloksiin, voidaan tuolloin mallin tieteellinen kestävyys asettaa kyseenalaiseksi. Malli ei siis tuolloin olisi Winsbergin (2010) analyysin mukaisesti epistemologiselta validiteetiltään riittävän hyvä.

Perinteisen matemaattisen tarkastelun lisäksi peliteorian pelejä voidaan simuloida tietokoneilla. Eric B. Winsberg tarkastelee teoksessaan *Science in the Age of Computer Simulation* (2010) filosofisesta näkökulmasta kriittisesti tietokonesimulaatioita, niiden roolia tieteessä, simulaatioiden luotettavuutta ja simulaatioiden luotettavuuden epistemologisia edellytyksiä. Winsbergin (2010, 19—25) mukaan simulaatioita hyödynnettäessä on keskeistä selvittää simulaatioiden tuottaman informaation epistemologisen oikeutuksen kannalta täyttääkö kulloinkin hyödynnetty simulaatio verifikaation ja validiteetin epistemologiset vaatimukset. Verifikaatiolla simulaatioiden epistemologian yhteydessä Winsberg tarkoittaa prosessia, jonka avulla voidaan arvioida tuottaako simulaatio oikeita laskutuloksia suhteessa (matemaattiseen) malliin, jota yritetään simuloida. Validiteetilla puolestaan Winsberg tarkoittaa epistemologista arviointia sen suhteen, että onko simulaatio niin hyvä, että sen voidaan katsoa vastaavan todellisen maailman mallia. Erityisesti validiteettia koskevat epistemologiset kysymykset ovat simulaatioiden hyödyntämisen kannalta olennaisia.

Pelinä voidaan ajatella mitä tahansa vähintään kahden toimijan tilannetta, jossa toimijoiden tekemät valinnat vaikuttavat siihen, mitä tilanteesta seuraa. Peliteorian kontekstissa peli toimii matemaattisena instrumenttina, jonka tarkoitus on formalisoida pelaajien välistä strategioiden vuorovaikutusta. Usein peleihin kuitenkin lisätään jokin narratiivi, joka kertoo miten pelin asetelmaan on päädytty. Pelin rakenteeseen kuuluu tyypillisesti vähintään kolme ominaisuutta, joista ensimmäinen on pelaajan identiteetti tai rooli. Tutkielmassa korostan pelaajan **roolia** käyttämällä lihavoitua tekstiä, jotta lukijan on helpompi ymmärtää milloin viittaaan pelissä esiintyvään rooliin. Toinen kaikkiin peleihin sisältyvä ominaisuus ovat toiminnot, joista pelaaja voi



valita ja kehittää strategiansa. Puhuessani tässä tutkielmassa peliin sisältyvistä toiminnoista, korostan niitä lisäämällä heittomerkit 'esimerkki' toimintoa kuvaavan sanan ympärille. Kun taas puhun strategioista, jotka noudattavat kyseessä olevassa pelissä jotakin tiettyä määriteltyä kaavaa, kirjoitan ne *kursiivilla*. Puhuessani strategioista yleisesti en käytä kursiivivia. Strategialla peliteoriassa tarkoitetaan pelaajan kokonaisvaltaista käyttäytymismallia, jonka pohjalta pelaaja tekee valintoja pelissä olevista toiminnoista. Kolmas ominaisuus, joka löytyy kaikista peleistä on lopputulos, joka pelissä ilmoitetaan jokaisesta mahdollisesta skenaariosta, joihin eri toimintojen valitseminen johtaa. Pelaajien saama lopputulos riippuu aina siitä mitä molemmat pelaajat ovat valinneet, mutta lopputuloksista pelaajille koitua "hyöty" voi olla pelaajille eri, riippuen heidän valitsemastaan strategiasta. (Lambertini 2011, 11—14)

Pelien lopputuloksien arvioinnissa käytetään tyypillisesti termiä hyöty, hyödyke tai utiliteetti (eng. Utility). Termi on peliteoriassa puhtaasti tekninen ja siitä on riisuttu subjektiiviset näkemykset, joissa toinen pelaaja saattaisi pitää toista hyödykettä toista arvokkaampana, koska tämä vaikeuttaisi tulosten tarkastelemista ja pelin sisällä tulosten vertailukelpoisuutta (Neumann & Morgenstern 1953, 15—16). Tyypillisesti pelaajan tavoittelemaa hyötyä kuvataan hyötyfunktioilla, joka ilmaisee pelaajan lopputuloksien preferenssiä. Esimerkiksi pelissä, jossa olisi neljä mahdollista lopputulosta, voitaisiin pelaajan lopputuloksiin kohdistuvia preferenssejä kuvata hyötyfunktioilla kirjaimin  $a > b > c > d$  tai numeroin  $4 > 3 > 2 > 1$ . Hyötyfunktion tulokset ovat pelin sisällä keskenään transitiivisia eli jos  $a > b$  ja  $b > c$ , niin silloin myös välttämättä  $a > c$ . Peliteorian avulla voidaan näin ollen tutkia, mitkä strategiat johtavat lopputuloksiin, joissa pelaaja maksimoi oman hyötynsä perustuen hänen omaan hyötyfunktioonsa tai miten pelaajat voivat saavuttaa pelissä kaikkein suurimman hyödyn yhteenlasketun arvon. Käänteisesti voidaan myös tutkia, miten pelaaja voi välttää oman etunsa kannalta huonoimman lopputuloksen. Tuloksille tyypillisin esitystapa on matriisi, jossa ilmoitetaan kaikki mahdolliset *strategiat* ja niiden kohtaamisten lopputulokset. Joskus tulokset esitetään ns. laajennetussa muodossa, jotta niitä voitaisiin tarkastella takaperoisen induktion avulla. Esitän kuitenkin kaikki pelien tulokset tässä tutkimuksessa taulukoissa matriisimuodossa. (Osborne 2004, 4—6; Risjord 2014, 94—96)

Erilaisten pelien väliltä löytyy paljon yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia, joiden perusteella pelejä voidaan luokitella tiettyihin kategorioihin. Yksi yleisimpiä erotteluja pelien välillä on jako yhteistyö- ja ei-yhteistyöpeleihin. Yhteistyöpeleissä pelaajat tavoittelevat yhteistä hyötyä, kun taas ei-yhteistyöpeleissä pelaajat itsekkäästi tavoittelevat hyötyä vain itselleen ja ovat avoimessa konfliktissa toisten pelaajien kanssa. (Lambertini 2011, 14)

Toinen yleinen kriteeri pelien kategorisointiin on pelien lopputulosten määräytyminen. Tyypillisesti pelit jaotellaan nollasummapeleihin (näistä voidaan käyttää myös termiä vakiosumma) ja ei-nollasummapeleihin. Nollasummapelille ominaista on, että pelissä jonkun voittaessa tai saadessa hyötyä, toisen on hävittävä tai koettava häitää. Pelin lopputuloksen kokonaismäärä on siis aina vakio, mutta se voi jakautua eri tavoin. Ei-nollasummapelissä sen sijaan voi olla samanaikaisesti useita voittajia tai häviäjiä ja lopputulosten yhteenlaskettu hyödyn määrä vaihtelee (siksi näistä voidaan puhua myös vaihtelevan summan peleinä). Ei-nollasummapeleissä on siis yleistä, että vaikka yksi pelaaja hyötyisi, tämä hyöty ei ole välttämättä muilta pelaajilta pois. Käsittelen tässä tutkimuksessa ainoastaan ei-nollasummapelejä. (Larbertini 2011, 14—15)

Pelit voidaan myös jakaa symmetrisiin tai asymmetrisiin. Symmetrisessä pelissä pelaajat ovat samassa **roolissa**, kun taas asymmetrisessä pelissä pelaajat pelaavat eri **rooleissa**. Yksinkertainen esimerkki symmetrisestä pelistä olisi kivi, paperi ja sakset (peliä on myös tutkittu peliteoriassa). Esimerkki asymmetrisestä pelistä on kasinoilla pelattava korttipeli blackjack, jossa pelaaja pelaa jakajaa vastaan, joka joutuu noudattamaan eri sääntöjä kuin pelaaja. Esimerkiksi asymmetrisessä pelissä pelaajan strategia voisi olla: "*Jos roolissa 1, toimi A, jos roolissa 2, toimi B.*" (Labertini 2011, 15; Maynard Smith 1982, 204; Osborne 2004, 406)

Pelit voidaan myös jakaa niiden asetelmaan sisältyvän informaation perusteella symmetrisiin ja asymmetrisiin. Lisäksi pelejä voidaan luokitella pelaajilla saatavilla olevan informaation määrän mukaan. Pelaajilla saatavilla oleva informaation määrä määrittää, että onko kyseinen peli täydellisen vai epätäydellisen, täyden tai vajaan informaation peli. Täydellinen ja epätäydellinen informaatio määritellään pelaajalla saatavilla olevasta informaatiosta, mikä koskee kaikkia aiempia pelikiertoja ja niillä valittuja strategioita. Täyden ja vajaan informaation peli puolestaan määrittyy sen mukaan onko pelaajalla informaatiota kaikista pelissä olevista rakenteellisista seikoista kuten **rooleista**, *strategioista* ja lopputuloksista. (Lambertini 2011, 15)

Lisäksi pelejä voidaan kategorisoida sen perusteella miten monta kertaa pelejä pelataan. Pelejä koskeva tarkastelu muuttuu esimerkiksi huomattavasti jos kyseessä on kerran pelattava peli tai toistettava peli. Kerran pelattavan pelin tapauksessa pelaajat kohtaavat vain kerran ja pelissä ei oteta huomioon menneisyyttä tai tulevaisuutta. Tässä tutkielmassa tarkastelen kuitenkin enimmäkseen toistettavia pelejä. Toistettaville peleille on ominaista, että aiempien kierroksien tulokset voivat vaikuttaa pelaajan strategian valintaan ja joitakin peliteoreettisia ongelmia on siksi mielekkäämpää tarkastella toistettujen pelien avulla. Lisäksi evolutiivinen peliteoria on nimenomaan kiinnostunut toistetuista peleistä. (Lambertini 2011, 15—16)

Evolutiivinen peliteoria kehittyi, kun klassista peliteoriaa sovellettiin aluksi biologiassa ja metodi saavutti suosiota erityisesti evoluutiobiologiassa. Myöhemmin evolutiivista peliteoriaa on kuitenkin alettu soveltamaan tieteissä myös biologian ulkopuolella, esimerkiksi yhteiskunta- ja taloustieteissä. Evolutiivinen peliteoria on luonteeltaan dynaaminen, mitä pidetään sen yhtenä vahvuutena verrattuna perinteiseen staattiseen peliteoriaan. Staattisella ja dynaamisella viitataan peliteorian yhteydessä strategioiden valintaan. Staattisessa mallissa strategiat eivät muutu ajan myötä, kun taas dynaamisessa mallissa strategiat kehittyvät ajan myötä. Myös von Neumann ja Morgenstern (1953, 44–45) huomauttivat alan pioneereinä, että heidän staattisen teoriansa mahdollisesti tulevaisuudessa tulee korvaamaan dynaaminen teoria. Toinen merkittävä ero klassisen peliteorian ja evolutiivisen peliteorian välillä on, että evolutiivinen peliteoria ei edellytä pelaajilta rationaalista toimintaa eli agenttien ei tarvitse toteuttaa instrumentaalisen rationalismin periaatetta, joten kaikki klassiseen peliteoriaan kohdistuva kritiikki ei päde samalla tavalla evolutiiviseen peliteoriaan.

Evolutiivisen peliteorian näkökulmasta on kiinnostavaa selvittää, sisältääkö tutkimuskohteena oleva peli *evolutiivisesti stabiileja strategioita*. Evolutiivisesti stabiili strategia on pelissä strategia, jota noudattamalla pelaaja takaa oman menestyksensä suuressa populaatiossa. Evolutiivisesti stabiilille strategialle on kaksi ennakkoehtoa. Ensinnäkin strategian tulee olla tehokas suhteessa muihin ympäristössä kilpaileviin strategioihin strategian ollessa vielä harvinainen. Toiseksi strategian tulee olla tehokas jatkossa, jotta se kykenee vastustamaan muita siitä poikkeavia strategioita, joista voidaan puhua myös mutaatioina. Evolutiivisesti stabiilit strategiat tyypillisesti ajavat populaatiota kohti *evolutiivisesti stabiilia tilaa*, joka tarkoittaa tilaa johon populaatio palaa valintamekanismien myötä aina häiriöiden jälkeen, olettaen, että häiriöt eivät olleet liian suuria. Evolutiivisella peliteorialla voidaan esimerkiksi replikaattoridynamiikkaa hyödyntämällä selvittää miten populaatio kehittyy eteenpäin, ajautuuko populaatio kenties missään vaiheessa evolutiivisesti stabiiliin tilaan ja kuinka monta erilaista strategiaa evolutiivisesti stabiilissa tilassa esiintyy. (Alexander 2009, Maynard Smith 1982, 11, 14, 204)

## **1.4 Vangin dilemma ja Nashin tasapaino**

Kuuluisin esimerkki pelistä, jolla perinteistä peliteoriaa voidaan kuvailla on vangin dilemma. Viitataan vangin dilemmaan jatkossa lyhenteellä VD. VD:n tarinassa kaksi pidätettyä ovat poliisin kuulusteltavina, jotta heidät voitaisiin tuomita ryöstöstä. Poliisilla ei ole kuitenkaan riittäviä todisteita, jotta vangitut saisivat tekemästään ryöstöstä mahdollisimman suuret tuomiot. Poliisilla kuitenkin on todisteita vankien tekemästä pienemmästä rikoksesta, jotka riittävät pienempään

tuomioon. Poliisi tarjoaakin molemmille vangeille tilaisuutta tehdä sopimus, jossa he ilmiantavat rikostoverinsa. Jos vain toinen vangeista ilmiantaa toisen vangin, ilmiantaja pääsee vapaaksi ja toinen vanki kärsii pitkän tuomion. Jos molemmat vangit ilmiantavat toisensa, molemmat saavat keskipitkän tuomion. Mikäli molemmat vangit pysyvät vaiti, molemmat saavat lyhyen tuomion. (Kuhn 2017)

Taulukossa 1.1. on kuvattuna aiemmin esitellyn VD-pelin lopputulokset jokaisesta skenaariosta. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivin strategia pelataan pystyrivin strategiaa vastaan. Sarakkeissa ensimmäinen luku kuvastaa taulukossa vaakarivin pelaajan hyödyn arvoa, jälkimmäinen luku vastaavasti pystyrivin pelaajan hyödyn arvoa. Suurempi lukuarvo tarkoittaa parempaa lopputulosta pelaajan kannalta. Vastaavan tyyppisiä taulukoita, joita kutsutaan peliteoriassa matriiseiksi, käytetään paljon peliteoriassa strategioiden kannattavuuden kuvaamiseksi.

Vangin dilemma		Vanki 2	Vanki 2
		Ilmiantaa	Pysyy vaiti
Vanki 1	Ilmiantaa	1 / 1	0 / 3
Vanki 1	Pysyy vaiti	0 / 3	2 / 2

Taulukko 1.1. Vangin dilemma

Taulukosta voidaan tehdä kolme merkittävää johtopäätöstä: ensimmäiseksi tulee huomata, että saavuttaakseen itsensä kannalta suurimman hyödyn, kannattaa vangin ilmiantaa rikostoverinsa. Toiseksi riippumatta siitä minkä strategian toinen vanki valitsee, huonoimpaan lopputulokseen ei koskaan päädy, mikäli aina ilmiantaa rikostoverinsa. Kolmanneksi, pelaajien yhteenlasketun hyödyn määrä on suurin molempien pysyessä vaiti. Tämä luo tilanteeseen selkeän dilemman tosielämässä, koska ihmisten välille voi syntyä luottamuspuola, sillä he ovat tietoisia asetelmassa itsekkään toiminnan tuottamasta mahdollisesta hyödystä pettäessään toisen. Näin ollen olisi vaikea päästä tilanteeseen, jossa yhteinen hyöty voitaisiin maksimoida.

Peliteoriassa yleinen käsite on Nashin tasapaino, josta löytyy esimerkki myös VD:stä. Käsite on peräisin amerikkalaiselta matemaatikolta John Nashilta. Nashin tasapaino viittaa tilanteeseen, jossa yksikään pelaaja ei voi yksipuolisesti omaa strategiaansa muuttamalla päästä parempaan lopputulokseen. VD:ssa Nashin tasapainoa toteuttaa tilanne, jossa molempien vankien strategia on ilmiantaa toinen. Merkittävää VD esimerkin kannalta on se, että Nashin tasapainoa toteuttava strategia ei johda yhteisen hyödyn kannalta optimaaliseen lopputulokseen, joka voitaisiin saavuttaa mikäli molemmat pelaajat valitsisivat strategiakseen *pysy vaiti*. Aidosta Nashin tasapainosta

voidaan puhua tilanteessa, jossa tasapainosta poikkeaminen johtaa välttämättä huonompaan lopputulokseen kuin siinä pysyminen. VD:sta ei aitoa Nashin tasapainoa kuitenkaan löydy. (Ross 2016)

VD:ssa vallitsevan Nashin tasapainon ongelman ratkaisemiseksi voidaan peliin soveltaa pareto-optimoinnin periaatetta. Pareto-optimoinnin periaatteen tarkoitus on yleisessä kontekstissa jakaa resurssit siten, että kenenkään asemaa ei voida enää parantaa huonontamatta toisen asemaa. Peliteorian kontekstissa pareto-optimaalisuus viittaa toisin sanoen tilanteeseen, jossa kenenkään pelaajan lopputulosta ei voida parantaa ilman, että huonontaa toisen pelaajan lopputulosta. VD:ssa pareto-tehokas tai pareto-optimaalinen lopputulos on tilanne, jossa molemmat pelaajat valitsevat strategiakseen *pysyä vaiti*. (Ross 2016.)

Nashin tasapainoa toteuttavat strategiat voidaan jakaa vielä erikseen lopputulosdominoiviin ja riskidominoiviin. Lopputulosdominoivan strategian ehtona on, että se toteuttaa suurinta pareto-tehokkuutta kaikista pelissä olevista Nashin tasapainoa toteuttavista strategioista. Riskidominoivan ehtona sen sijaan on se, että se on kaikista Nashin tasapainossa olevista strategioista vetovoimaisin, eli pelaajien ollessa epävarmoja muiden strategioista heillä on suurin houkutus valita kyseinen strategia sen riskittömyyden takia, vaikka se ei tuottaisi pelissä pelaajien yhteenlasketun hyödyn kannalta parasta mahdollista lopputulosta. (Lambertini 2011, 39)

Heikosti dominoivalla strategialla tarkoitetaan peliteoriassa strategiaa, joka pärjää paremmin kuin jotkin muut strategiat, mutta se ei ole yhtäkään muuta strategiaa heikompi (Weibull 1996, 10). Heikosti dominoivat strategiat ovat peliteoreettisessa kontekstissa usein strategioita, jotka toimivat vapaamatkustajan periaattein. Evolutiivisen peliteorian malleissa erityisen kiinnostavaa on se, että heikosti dominoivat eli vapaamatkustajan periaatetta noudattavat strategiat eivät välttämättä eliminoidu automaattisesti pois replikaattoridynamiikkaa soveltavissa peleissä (Skyrms 2014, 33).

## **1.5 Evolutiivisen peliteorian alkuperästä ja haukka ja kyyhky -peli**

Evolutiivinen peliteoria on suhteellisen tuore tutkimuskohde. Vaikka evolutiivisesta peliteoriasta oli kirjoitettu aiemmin, nähdään John Maynard Smith (1920—2004) evolutiivisen peliteorian ensimmäisten perusperiaatteiden ja käsitteiden merkittävimpänä kehittäjänä. John Maynard Smithin ja George Pricen artikkeli *The Logic of Animal Conflict*, joka julkaistiin vuonna 1973 Nature-journalissa, oli yksi ensimmäisiä merkittäviä evolutiivisen peliteorian julkaisuja. Artikkelissa kirjoittajat määrittelevät evolutiivisen peliteorian kannalta merkittävän käsitteen – *evolutionary*

*stable strategy* eli evolutiivisesti stabiili strategia. Käsitteestä käytetään myös lyhennettä ESS. Julkaisu toimi merkittävänä pohjana Maynard Smithin myöhemmälle työlle ja hän julkaisi evolutiivista peliteoriaa laajasti käsittelevän teoksen *Evolution and the Theory of Games* vuonna 1982. Kyseistä teosta pidetään evolutiivisen peliteorian ensimmäisenä suurena teoksena (Weibull 1996) ja siihen usein viitataan edelleen evolutiivista peliteoriaa käsittelevässä kirjallisuudessa ja artikkeleissa.

Maynard Smithin tunnetuin esimerkki evolutiivisesta peliteoriasta ja evolutiivisesti stabiilista strategiasta on peräisin hänen haukka ja kyyhky-pelistä. Maynard Smith (1982, 12—13) muotoilee pelin asetelman ja säännöt seuraavasti:

*"Kuvitellaan, että kaksi eläintä kilpailevat resurssista, jonka arvo on V, mikä lisää yksilön darwinilaista kelpoisuutta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että yksilön, joka ei saa resurssia V, darwinilainen kelpoisuus olisi nolla. Tätä voidaan kuvata esimerkillä, että eläin, joka häviää kilpailun resurssista, joka on esimerkiksi reviiri, voi kuitenkin lisääntyä toisella reviirillä, jonka olosuhteet eivät kuitenkaan ole yhtä suotuisat kuin territorion, jonka arvo on V. Esimerkiksi eläin, joka voittaa kilpailusta reviirin V, saa viisi jälkeläistä, kun taas kilpailun hävinnyt eläin saa kolme. Näin ollen voidaan selvittää V arvo  $5-3=2$ . Eli eläimen, joka voittaa kilpailun resurssista V, kasvattaa omaa darwinilaista kelpoisuuttaan arvolla 2. V on siis lisäys yksilön kelpoisuuteen, mutta ei muuta muiden siitä kilpailevien kelpoisuutta nollassi. Kilpailun aikana eläimillä on valittavissa kolme toimintaa, 'esittäminen', 'eskalaatio' ja 'perääntyminen'. 'Esittäminen' ei vahingoita toista, 'eskalaatio' voi johtaa toisen vahingoittamiseen ja 'perääntyminen' johtaa resurssista kilpailemisesta luopumiseen."*

Aiemman muotoilun pohjalta Maynard Smith (1982, 13—14) esittää yksinkertaisen haukka-kyyhky-pelin mallin, jossa on vain kaksi strategiavaihtoehtoa. *Haukka*-strategiaa käyttävä pelaaja valitsee 'eskalaation' aina siihen pisteeseen saakka, kunnes pelaaja haavoittuu tai vastustaja perääntyy. *Kyyhky*-strategiaa noudattava pelaaja puolestaan valitsee aina esittää, mutta kohdatessaan eskaloivan vastustajan, pelaaja valitsee aina perääntyä. Lisäksi mikäli molemmat pelaajat valitsevat eskalaation, oletetaan, että ennemmin tai myöhemmin toinen haavoittuu ja haavoittunut pelaaja pakotetaan perääntymään. Haavoittumisesta koituvaa haittaa voidaan kuvata kelpoisuudelle aiheutuvalla arvolla C (cost). Maynard Smithin haukka-kyyhky-peli pelattuna näiden ehtojen vallitessa tuottaa tulokset, jotka ovat kuvattu alla taulukossa 1.2. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivin strategia pelataan pystyriivin strategiaa vastaan ja vaakarivin strategian pelannut pelaaja saa solussa olevan arvon lopputuloksekseen.

	<b>HAUKKA</b>	<b>KYYHKY</b>
<b>HAUKKA</b>	$\frac{1}{2}(V-C)$	V
<b>KYYHKY</b>	0	V/2

**Taulukko 1.2.** Maynard Smithin haukka ja kyyhky-pelin tulostaulukko (Maynard Smith 1982, 12.)

Haukka ja kyyhky -pelissä strategiat *haukka* ja *kyyhky* eivät ole ainoat strategiat, joilla voidaan hyödyntää kolmea pelissä olevaa toimintaa, mutta yksinkertaisuuden vuoksi Maynard Smith käyttää

vain näitä kahta strategiaa esittääkseen pelin mallin.

Haukka ja kyyhky-pelin toiminnoista voidaan myös käyttää termien 'eskaloida' ja 'esitellä' sijaan esimerkiksi termejä 'vaaralliset-' ja 'konventionaaliset taktiikat', mutta Maynard Smith (1982) on valinnut termeikseen 'eskaloida' ja 'esitä', koska Maynard Smith ja Price käyttivät niitä jo vuoden 1973 tutkimuksessaan. Maynard Smith ja Price käyttivät vuonna 1973 julkaistussa tutkimuksessaan myös samoja toimintoja kuin Maynard Smithin haukka-kyyhky-pelin esimerkissä, mutta 1973 tutkimus käsitti kuitenkin laajemman kirjon vaihtoehtoisia strategioita perustuen kolmelle mainitulle toiminnolle.

Maynard Smithin ja Pricen 1973 teettämässä tutkimuksessa haukka ja kyyhky-pelin strategiaa *kyyhky* tutkimuksessa vastasi *hiiri*, *haukka* noudatti samaa strategiaa kuin Maynard-Smithin 1982 mallissa. Näiden lisäksi tutkimuksessa käytettiin strategiamalleja *kiusaaja* (bully), *kostaja* (retaliator) ja *tunnusteleva kostaja* (prober retaliator). *Kiusaajan* strategia toimii siten, että *kiusaaja* pelaa aina ensimmäisellä kierroksella eskalaation. Seuraavilla kierroksilla *kiusaaja* pelaa eskalaation, mikäli vastustaja esittää tai pelaa esittää, mikäli vastustaja eskaloi. Jos vastustaja pelaa eskalaation kaksi kertaa peräkkäin, *kiusaaja* perääntyy. *Kostaja* pelaa aina ensimmäisellä kierroksella esitä, ja pelaa esitä aina kun vastustaja on edellisellä kierroksella myös pelannut esitä. Jos vastustaja pelaa eskaloi, *kostaja* myös suurella todennäköisyydellä pelaa eskaloi seuraavalla kierroksella. Lisäksi *kostaja* voi pelata perääntyä, mikäli peli on kestänyt ennaltamäärätyn määrän kierroksia. *Tunnusteleva kostaja* sen sijaan toimii hieman monimutkaisemmin kuin muut. Jos *tunnusteleva kostaja* pelaa ensin tai jos vastustaja on pelannut toiminnan esitä, suurella todennäköisyydellä *tunnusteleva kostaja* pelaa myös esitä ja pienellä todennäköisyydellä pelaa eskaloi ja voi pelata myös perääntymisen, mikäli peli on kestänyt tietyn määrän kierroksia. Jos vastustaja vastaa aiemmin *tunnustelevan kostajan* pelaajaan eskalaatioon pelaamalla eskaloi, *tunnusteleva kostaja* pelaa seuraavaksi esitä. Mutta mikäli vastustaja pelaa *tunnustelevan kostajan* eskalaation jälkeen esitä, *tunnusteleva kostaja* pelaa eskalaation niin kauan kun vastustaja pelaa esittää tai perääntyy. Mikäli vastustaja tekee eskalaation aloitteen, *tunnusteleva kostaja* pelaa suurella todennäköisyydellä eskaloi. Toisinsanoen *tunnusteleva kostaja* hyväksikäyttää satunnaisia hyökkäyksiä tunnustellakseen vastustajaansa. (Maynard Smith & Price 1973, 16)

Maynard Smith & Price (1973, 16) ajoivat tietokonesimulaatiossa aiemmin esitellyt strategiat, tuottaen yhteensä 15 erilaista kahden strategian välistä peliä. Nämä kaikki mahdolliset strategioiden kohtaamiset ajettiin simulaatiossa 2000 kertaa käyttäen pseudosatunnaisia numeroita pelien varioinniksi. Simulaatioissa käytettiin myös seuraavia arvoja: todennäköisyys, että eskalaatiosta

seuraa haavoittuminen = 0.10, todennäköisyys sille, että tunnusteleva kostaja pelaa eskalaation avaustoimintanaan tai vastustajan pelattua esitä = 0.05, ja todennäköisyys sille, että kostaja ja tunnusteleva kostaja pelaa eskaloii responssina eskalaatioon, mikäli tämä ei haavoittunut siitä = 1.0. Pelien lopputulokset arvosteltiin simulaatiossa seuraavasti: Pelin voittaminen = +60. Vakavasti haavoittuminen pelissä = -100. Eskalaatiosta selviäminen ilman vakavaa haavoittumista = -2. Ajan ja energian säästämistä pelissä palkittiin jokaista pelaajaa arvolla, joka varioi nollan ja 20 välillä riippuen pelin kestosta, esimerkiksi lyhyestä pelistä sai täyden arvon 20, kun taas pelistä, joka jatkui pitkään sai arvon nolla.

Taulukossa 1.3 on kuvattu Maynard Smith & Price (1973) teettämän simulaation tulokset. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivin strategia pelaa pystyirivin strategiaa vastaan. Suurempi lukuarvo tarkoittaa parempaa lopputulosta pelaajan kannalta.

		Vastustajan strategia				TUNNUSTELEVA
		"HIIRI"	"HAUKKA"	"KIUSAAJA"	"KOSTAJA"	KOSTAJA"
Lopputuloksen saavan pelaajan strategia	"HIIRI"	29.0	19.5	19.5	29.0	17.2
	"HAUKKA"	80.0	-19.5	74.6	-18.1	-18.9
	"KIUSAAJA"	80.0	4.9	41.5	11.9	11.2
	"KOSTAJA"	29.0	-22.3	57.1	29.0	23.1
	"TUNNUSTELEVA KOSTAJA"	56.7	-20.1	59.4	26.9	21.9

Taulukko 1.3. Maynard Smithin & Pricen simulaation tulokset (1973, 16).

Laskettauan simulaation tuottamat keskiarvot kaikkien pelien tuloksista (kuvattu taulukossa 1.2), totesivat Maynard Smith & Price (1973, 16), että simulaatiossa ainoa evolutiivisesti stabiili strategia oli kostajan strategia. Tämä perustui sille, että kostaja onnistui saamaan aina yhtä hyvän tai paremman tuloksen itseään vastaan kuin kaikkia muita vastaan, täyttäen evolutiivisesti stabiilin strategian ehdot, että sen tulee pärjätä muita strategioita vastaan paremmin tai yhtä hyvin kuin muut strategiat ja sen tulee pärjätä hyvin myös itseään vastaan yhtä hyvin kuin muita strategioita vastaan.

Olellainen havainto, jonka Maynard Smith & Price (1973, 17) tekivät liittyen evolutiivisesti stabiilista strategiasta oli, että populaatiossa, jossa on puhtaita strategioita ja sekastrategioita, ei puhtas strategia voi koskaan olla evolutiivisesti stabiili strategia. Tämä johtuu siitä, että puhtaat strategiat eivät mukaudu ympäristöönsä. Aiemmissa peleissä strategiat *haukka* ja *hiiri/kyyhky* ovat esimerkkejä puhtaista strategioista. Esimerkiksi ympäristössä, jossa populaatio koostuu suurimmalta osin eläimistä, jotka noudattaisivat pelien strategiaa *haukka*, ei populaatio voisi kehittyä eteenpäin, koska kilpailevat yksilöt aiheuttaisivat jatkuvasti vahinkoa toisilleen, eivätkä yksilöt voisi nauttia kilpailun voittamisesta ansaituista hyödyistä. Sekä tästä, että Maynard Smithin



(1982) haukka-kyyhkypelistä voidaan päätellä, että ollakseen toimiva strategia, *haukka*-strategiaa voisi hyödyntää ympäristössä, jonka populaatiossa on enimmäkseen niitä strategioita, joita vastaan se pystyy olemaan vahva. *Kyyhkyn* tai *hiiren* strategiat eivät myöskään voi olla koskaan evolutiivisesti stabiileja strategioita, koska mikä tahansa yksinkertainenkin mutanttistrategia, joka pystyisi hyödyntämään niiden passiivista toimintamallia kykenisi nousemaan dominoivaksi strategiaksi populaatiossa. Esimerkiksi yksikin *haukan* tai *kiusaajan* strategiaa noudattava yksilö pystyy lisääntymään pelkästään strategian *hiiri* adoptoineessa populaatiossa parhaiten, mikä puolestaan epävakauttaa strategian *hiiri* toimivuutta kyseisessä ympäristössä.

Maynard Smithin haukka-kyyhkypelin suhteen voidaan selvittää evolutiivisesti stabiili strategia antamalla tietyt arvot variaabeleille  $V$  ja  $C$ . Jos  $V > C$  tai  $\frac{1}{2}(V - C) > 0$ , niin *haukka* on evolutiivisesti stabiili strategia. Jos kuitenkin  $V < C$ , kumpikaan puhdas strategia ei ole evolutiivisesti stabiili. Tilanteessa, jossa kumpikaan puhdas strategia ei ole evolutiivisesti stabiili, on kuitenkin mahdollista, että yksilö ottaa käyttöönsä niin sanotun sekastrategian, eli pelaa välillä kuin *haukka*, välillä kuin *kyyhky*. Maynard Smith (1982, 15—17, 180—183) osoittaa, että jos haukka-kyyhkypelissä variaabelien arvot ovat  $V < C$ , on sekastrategia evolutiivisesti stabiili, jos se täyttää ehdon  $P = V / C$ ,  $P$  tarkoittaa tässä todennäköisyyttä, jolla pelaaja pelaa strategian *haukka*, samalla pätee myös, että pelaaja pelaa strategian *kyyhky* todennäköisyydellä  $(1 - P)$ .

Lisäksi on mahdollista, että pelissä, jossa  $V < C$ , voi muodostua evolutiivisesti stabiili tila, jossa populaatiosta osa noudattaa puhdasta strategiaa *haukka* ja osa noudattaa puhdasta strategiaa *kyyhky*. Kyseisen evolutiivisesti stabiilin tilan ja minkä tahansa muun symmetrisen evolutiivisen pelin, jossa **ei ole** evolutiivisesti stabiilia puhdasta strategiaa, on mahdollista selvittää kuinka suurilla molempien puhtaiden strategioiden populaatioiden tulisi olla, jotta evolutiivisesti stabiili tila voisi muodostua. Edellytyksenä on siis, että kun pelaajilla on valittavissa vain kaksi puhdasta strategiaa, joista kumpikaan ei ole evolutiivisesti stabiili strategia, evolutiivisesti stabiilin tilan muodostavien puhtaiden strategioiden populaatioiden osuudet voidaan laskea yhtälöllä:  $PE_{xx} + (1 - P)E_{xy} = PE_{yx} + (1 - P)E_{yy}$ <sup>6</sup> (Maynard Smith 1982, 15—16, 180—183). Yhtälössä  $P$  ilmaisee todennäköisyyttä (probability) strategialle tulla valituksi,  $E$  ilmaisee strategioiden tuloksen odotusarvoa (expected payoff), variaabelit  $x$  ja  $y$  ilmaisevat strategioita pelissä.

Sen sijaan kolmen puhtaan strategian peleissä on myös mahdollista, että evolutiivisesti stabiilia tilaa ei ole, vaan strategioiden esiintyvyys voi olla dynaamisessa kiertäessä. Maynard Smith (1982, 17—20) tekeekin teoriastaan merkittävän johtopäätöksen, että kahden pelaajan peli, jossa on vain kaksi

<sup>6</sup> Maynard Smith (1982) käytti variaabeleita  $H$  ja  $D$  ( $H = \text{Hawk}$ ,  $D = \text{Dove}$ ). Yhtälö on esitetty sen yleisessä muodossa, jota voi helposti soveltaa mihin tahansa peliin, joka täyttää tekstissä mainitut ennakoehdot.

puhdasta strategiaa, sisältää aina vähintään yhden evolutiivisesti stabiilin strategian. Kiinnostavaa on myös se, että Maynard Smith todisti, että sama lainalaisuus ei päde peliin, jossa on kolme tai useampi puhdasta strategiaa, käyttäen esimerkkinä kivi, paperi ja sakset peliä.

Lopetan tähän evolutiivisen peliteorian yleisen ja historiallisen tarkastelun. Suosittelen evolutiivisen peliteorian alkuperästä, taustatekijöistä ja tieteellisestä motivaatiosta kiinnostunutta lukijaa tutustumaan Maynard Smithin *Evolution and Theory of Games* teoksen lisäksi Richard Dawkinsin teokseen *The Selfish Gene* (alkuperäinen julkaisu on vuodelta 1976), joka käsittelee osittain samoja teemoja kuin Maynard Smith, mutta lähestymistapa ei ole matemaattinen. Lukijalle vielä huomautuksena, että käyttämäni esimerkit ja pelit ovat olleet erittäin yksinkertaisia. Kattavaa matemaattista yleiskuvaa ja evolutiivisten pelien monimutkaisuuden ymmärtämistä varten lukijan tulisi tutustua esim. Jörgen W. Weibullin teokseen *Evolutionary Game Theory* (alkuperäinen julkaisu on vuodelta 1995). Maynard Smithin teos sisältää myös huomattavasti monimutkaisempia todistuksia ja esimerkkejä, joita en tässä esitellyt.

## 2.0 Brian Skyrms ja hirvenmetsästyspeli evolutiivisessa peliteoriassa

Tässä luvussa perehdytään tarkemmin Brian Skyrmsin kirjojen *Evolution of the Social Contract* (2014), *The Stag Hunt and the Evolution of Social Contract* (2004) ja *Signals — Evolution, Learning, & Information* (2010) avulla tutkimaan evolutiivista peliteoriaa. Teoksien pohjalta teen katsauksen kysymykseen miten peliteorian pelaajien strategioiden optimaaliseen valintaan vaikuttavat yhteistyön ja sosiaalisten rakenteiden evoluutio erilaisissa peliympäristöissä. Merkittäviä filosofisia kysymyksiä, joihin tutkimuksen seuraavissa luvuissa tulen vastaamaan evolutiivisen peliteorian näkökulmasta ovat mm. miten luottamus pelaajien välillä kehittyy hirvenmetsästyspelissä, miksi yhteistyö on evoluution kannalta vartenotettava strategia ja miksi juuri hirvenmetsästyspeliä kannattaa tutkia yhteistyöhön liittyvien ongelmien ratkaisemiseksi.

### 2.1 Hirvenmetsästyspeli peliteorian sovelluksena

Hirvenmetsästyspeliin sisältyvä narratiivi on alunperin Jean-Jacques Rousseau'n esittämä tarina hänen teoksessaan *Tutkielma ihmisten välisen eriarvoisuuden alkuperästä ja perusteista* (alkuperäinen julkaisu vuodelta 1755). Tarina menee seuraavasti: Metsästettäessä hirveä, kaikki hyvin ymmärsivät, että heidän tulee pysytellä uskollisesti omissa asemissaan; mutta jos jänis sattui kulkemaan ohi yhden heistä ulottuvilla, emme voi epäilläkään etteikö hän olisi lähtenyt sitä hetkeäkään epäröimättä jahtaamaan. Tarinasta myöhemmin kehittyi peliteoriassa sovellettava peli, joka tunnetaan hirvenmetsästyspelinä. Hirvenmetsästyspelin kautta voidaan tarkastella yhteistyön ja sopimusten luonnetta sekä niihin liittyviä sosiaalisia dilemmoja. Brian Skyrms (2004) tarkastelee hirvenmetsästyspelin piirteitä ja vertaakin hirvenmetsästyspelin tilannetta kuvaavan esiasteisen yhteiskuntasopimuksen piirteitä. Viittaa jatkossa hirvenmetsästyspeliin lyhenteellä HMP. (Skyrms 2004, 1)

Skyrms (2004, 1-4) muotoilee HMP säännöt seuraavanlaisesti: Pelaajia on kaksi, kuten vangin dilemmassa. Pelaajilla on valittavissaan kaksi vaihtoehtoa, joko metsästää hirveä tai metsästää jänistä. Onnistuakseen nappaamaan hirven, tulee molempien pelaajien osallistua sen metsästämiseen. Toisten pelaajien valinta ei vaikuta jäniksen metsästämisen onnistumiseen. Skyrms määrittää onnistuneelle hirven metsästykselle arvon 4, jäniksen metsästykselle arvon 3 riippumatta siitä kuinka monta pelaajaa jänistä metsästää. Epäonnistuneelle hirven metsästykselle Skyrms antaa arvon 0. Skyrmsin HMP arvot ovat kuvattu taulukossa 2.1. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivin strategia pelataan pystyrivin strategiaa vastaan. Sarakkeissa ensimmäinen luku kuvastaa taulukossa vaakarivin pelaajan hyödyn arvoa, jälkimmäinen luku vastaavasti pystyrivin pelaajan

hyödyn arvoa. Suurempi lukuarvo tarkoittaa parempaa lopputulosta pelaajan kannalta.

Hirven metsästys		Pelaaja 2	Pelaaja 2
		Hirvi	Jänis
Pelaaja 1	Hirvi	4 / 4	0 / 3
Pelaaja 1	Jänis	3 / 0	3 / 3

Taulukko 2.1. Skyrmsin HMP arvot.

HMP:lle on myös muita vaihtoehtoisia malleja, joissa kuitenkin säilyy sama ajatus. Taulukossa 2.2 on esitelty vaihtoehtoinen malli HMP:lle, joka kuitenkin säilyttää saman peliteoreettisen rakenteen ja jota on oikeutettua nimittää myös HMP:ksi. Taulukossa 2.2 on kuvattuna tyypillisempi HMP tulostmallin, jossa ainoa, mutta merkittävä ero Skyrmsin malliin on, että molempien metsästäessä jänistä, joutuvat metsästäjät jakamaan jäniksen, tuottaen lopputulokseksi tilanteessa, jossa molemmat pelaajat metsästävät jänistä pelaajille hyödyn arvoksi 1. Yksinkertaistetun HMP:n tulokset ovat kuvattuna taulukossa 2.2. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivillä olevan strategia pelataan pystyrivillä olevaa strategiaa vastaan ja ainoastaan vaakarivin pelaaja saa taulukossa ilmoitetun lopputuloksen.

	Hirvi	Jänis
Hirvi	4	0
Jänis	3	1

Taulukko 2.2 Vaihtoehtoinen, yksinkertaistettu esitys HMP:n lopputuloksista.

Taulukosta 2.2 selviää, että strategiat, joissa molemmat pelaajat metsästävät hirveä tai jänistä, muodostavat Nashin tasapainon. Tämän esimerkin tapauksessa Nashin tasapainon muodostavat strategiat kertovat meille, että pelaajan kannalta kannattavin strategia on aina metsästää samaa kohdetta kuin hänen kanssapelaajansa. Rationaaliselle pelaajalle dilemman muodostaa hänen valintansa yhteisen ja suurimman yksilökohtaisen edun tuoma vaihtoehto metsästää hirveä, mutta hän joutuu ottamaan henkilökohtaisen riskin, koska hänen kanssapelaajansa ei välttämättä metsästä hirveä. Sen sijaan jäniksen metsästämisessä pelaajalle ei ole henkilökohtaista riskiä lainkaan, mikä kannustaa pelaajan valitsemaan strategian, joka tuottaa parhaimman lopputuloksen suhteessa siihen liittyvään riskiin. Näin ollen jäniksen metsästys on riskidominoivassa tasapainossa, kun taas hirven metsästys lopputulosdominoivassa tasapainossa.

Tämä jokseenkin itsestäänselvältä vaikuttava havainto luo perustan tutkimukseni kannalta merkittävälle kysymykselle, jonka Skyrms (2004, 10) esittää ja pyrkii teoksessaan vastaamaan: Miten jäniksen metsästyksen tasapainosta on mahdollista siirtyä hirven metsästyksen tasapainoon? Kysymys on olennainen, koska mikäli molemmat pelaajat valitsevat pelissä strategian metsästää

jänistä, he eivät rationaalisina pelaajina voi vaihtaa strategiaansa ilman, että heillä olisi tae, että heidän kanssapelaajansa tekisi samoin. Skyrms (2004, 5) toteaaakin, että vaikka rationaaliset pelaajat kykenisivät koordinoimaan pelinsä päätyään yhteiseen hirven metsästykseen, he tarvitsevat keinon, jolla arvioida kanssapelaajien luottokelpoisuutta. Jatkokysymyksenä ensimmäiselle voidaan siis järkevästi esittää, miten luottamus pelaajien välillä kehittyy.

Aluksi on hyvä tarkastella mitä keskenään yhteistä ja mitä eroavaisuuksia HMP ja VD peleillä on esitetyissä tapauksissa. Lopputulosten lukuarvoilla ei pelistä toiseen siirryttäessä ole merkitystä, koska variaabelien arvot eivät eri pelien välillä ole transitiivisia. Taulukoista 1.2. ja 2.2 käy heti ilmi, että VD:stä on löydettävissä vain yksi Nashin tasapaino, HMP:stä sen sijaan kaksi. Tämä seikka saa pelit näyttämään täysin erilaisilta ja pitääkin paikkansa, mikäli pelejä pelattaisiin vain yksi kierros. vaikka VD:n tapauksessa molempien pelaajien valitessa strategian pysyä vaiti on pareto-optimaalinen, se ei ole Nashin tasapainossa, joten pelaajat voivat pyrkiä tavoittelemaan parempaa omaa etua vaihtamalla strategiaansa ja yllättämään kanssapelaajansa. Skyrms (2004, 4—6) tarkasteleekin miten VD muuttuu luonteeltaan HMP:ksi, mikäli pelaamme useita kierroksia.

Tulevien esimerkkien selkeyttä varten, muutan VD:n strategia vaihtoehdot yksinkertaisimmiksi. VD:ssa strategiaa pysyy vaiti vastaa tekee yhteistyötä, strategiaa ilmiantaa vastaa pettää. Skyrmsin (2004, 4—6) teoria on alunperin esiintynyt jo Thomas Hobbesilla ja David Humella. Skyrms ottaa käyttöön Hobbesin käyttämät termit strategioista "*Trigger*" ja "*Foole*". *Trigger*-strategia toimii siten, että pelaaja aina aluksi tekee yhteistyötä, mutta joutuessaan petoksen uhriksi, hän kostaa sen myös pettämällä. Tämä strategia tunnetaan yleisesti paremmin nimellä "tit for tat". *Foole*-strategia sen sijaan pettää aina, koska Hobbesin mukaan (Skyrms 2004, 4) *Foole* ei ymmärrä tulevaisuuden merkitystä. Jos VD:a pelataan vain yksi kierros vain näillä kahdella strategialla, seuraa niistä taulukon 2.3. lopputulokset. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivillä oleva strategia pelataan pystyrivillä olevaa strategiaa vastaan ja ainoastaan vaakarivin pelaaja saa taulukossa ilmoitetun lopputuloksen.

	<b>Trigger</b>	<b>Foole</b>
<b>Trigger</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>Foole</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

**Taulukko 2.3.** *Trigger* vs. *Foole*, yksi kierros vangin dilemmaa. (Skyrms 2004, 5.)

Kuten taulukosta voi päätellä, *Foole* saavuttaa strategiallaan suuremman hyödyn. Lopputulos kuitenkin muuttuu huomattavasti, kun pelin toistettavuutta lisätään. Mikäli pelin toistettavuuden todennäköisyydelle annamme arvon 0.6, VD:n lopputulokset muuttuuvatkin muistuttamaan

luonteeltaan enemmän HMP:n tuloksia. Toistetun VD:n *Trigger* ja *Foole* strategioilla lopputulokset ovat kuvattu taulukossa 2.4.

	<b>Trigger</b>	<b>Foole</b>
<b>Trigger</b>	<b>5</b>	<b>1,5</b>
<b>Foole</b>	<b>4,5</b>	<b>2,5</b>

**Taulukko 2.4.** Trigger vs. Foole, useampi kierros vangin dilemmaa (Skyrms 2004, 5.)

Skyrm (2004, 5—6, 125) toteaa, että vaikka pelin toistuvuuden todennäköisyyden noustessa pelin luonne muuttuu VD:sta HMP:ksi, se ei siltikään ratkaise yhteistyöhön liittyvää ongelmaa, vaan yksinkertaisesti muuttaa yhteistyön ongelman VD:ssa yhteistyön ongelmaksi HMP:ssä. Yhteistyö ei ole kannattavaa yhden pelin kannalta, mutta pelin toistuessa, kunhan pelissä on yhteistyötä suosivia pelaajia, yhteistyöstä tulee kannattavempaa.

Samanlaisen vaikutuksen ja siitä kumpuavan yhteistyön ongelman Skyrms (2004, 6—9) huomaa myös John Maynard Smithin evolutiivisessa peliteoriassa. Skyrms (2004, 7) kuvailee Maynard Smithin evolutiivista peliteoriaa hiiristä ja heinäsuovista seuraavasti: Syksyllä maanviljelijä niittää heinät ja tekee niistä heinäsuopia. Jokaisen heinäsuovan asuttaa kaksi sattumanvaraista hiirtä ympäristön hiiripopulaatiosta. Talven aikana hiiret pelaavat kierroksen VD:a ja lisääntyvät. Kun keväällä maanviljelijä purkaa heinäsuovat, hiiripopulaatio jakautuu ympäristöön valmiiksi uutta sykliä varten. Hiirten jälkeläisten määrä riippuu VD pelin lopputuloksesta ja jälkeläiset perivät vanhemmiltaan käyttäytymismallin. Yksinkertaistetun VD pelin tulokset ovat esitettynä taulukossa 2.5. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivillä oleva strategia pelataan pystyrivillä olevaa strategiaa vastaan ja ainoastaan vaakarivin pelaaja saa taulukossa ilmoitetun lopputuloksen.

	<b>Tekee yhteistyötä</b>	<b>Pettää</b>
<b>Tekee yhteistyötä</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>Pettää</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

**Taulukko 2.5.** Yksinkertaistettu VD.

Näin ollen, jos yhteistyötä tekevä hiiri pariutuu pettävän hiiren kanssa, tämä ei saa ollenkaan jälkeläisiä. Mikäli kaksi pettävää hiirtä pariutuvat, saavat kumpikin yhden jälkeläisen eli kaikissa seuraavissa sukupolvissa on aina kaksi pettävää hiirtä. Sen sijaan jos pettävä hiiri pariutuu yhteistyötä tekevän hiiren kanssa, pettävä hiiri saa kolme jälkeläistä, jotka kaikki noudattavat käyttäytymismallia pettää. Näin ollen, vaikka pettäviä hiiriä olisi ensimmäisen sukupolven jälkeen heinäsuovassa kolme, hiirten määrä heinäsuovassa säilyy kolmena aina jokaisessa niitä seuraavassa sukupolvessa. Sen sijaan yhteistyötä tekevien hiirten pariuduttua, nämä saavat kumpikin kaksi

jälkeläistä eli yhteensä neljä jälkeläistä ensimmäisessä sukupolvessa. Seuraavassa sukupolvessa nämä hiiret saavat yhteensä kahdeksan jälkeläistä jne.

Tästä Skyrms (2004, 8) päättelee, että mikäli heinäsuovat puretaan ensimmäisen sukupolven jälkeen, pettämisen strategia on tuottanut eniten jälkeläisiä. Mutta kuten aiemmassa trigger vs. foole esimerkissä, myös hiiret heinäsuovassa-esimerkissä yhteistyöstä tulee kannattavampi strategia (tuottaa enemmän jälkeläisiä) mikäli peliä pelataan useampi kierros. Hiiret heinäsuovassa-pelin dynamiikka myös saa aikaan täydellisen korrelaation heinäsuopien sisällä ensimmäisen sukupolven jälkeen, yhteistyötä tekevät pariutuvat aina vain yhteistyötä tekevien kanssa ja vastaavasti pettävät aina pettävien kanssa. Pettämisen strategia menettää pitkässä juoksussa tilapäisen etunsa, koska strategiaa *pettää* pelaava pelaaja ei onnistu hyväksikäyttämään muita.

Skyrms (2004, 8—9) esittää toisen tavan tulkita hiiret heinäsuovassa-mallia, josta alkuperäinen ansio kuuluu Ted Bergstromille. Heinäsuopia voidaan nimittäin myös tutkia alkuperäisten asuttajien näkökulmasta ja kuka tuolloin on saanut eniten jälkeläisiä. Mikäli heinäsuovat puretaan kahden sukupolven jälkeen, saadaan lopputulokseksi taulukko 2.6. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivillä oleva strategia pelataan pystyrivillä olevaa strategiaa vastaan ja ainoastaan vaakarivin pelaaja saa taulukossa ilmoitetun lopputuloksen.

	Tekee yhteistyötä	Pettää
Tekee yhteistyötä	4	0
Pettää	3	1

**Taulukko 2.6.** Yhden hiiren saamien jälkeläisten määrä, jos heinäsuova puretaan kahden sukupolven jälkeen.

Kun vertaamme taulukkoa 2.6. taulukkoon 2.2. voimme todeta, että ne ovat identtiset. Hiiret heinäsuovassa peli on siis luonteeltaan samanlainen kuin hirven metsästys. Hiiret heinäsuovassa pelissä esiintyy siis sama ongelma kahden Nashin tasapainon välillä, joihin peli vääjäämättä päättyy. Skyrms (2004, 9) lisäksi huomauttaa, että mikäli hiiret heinäsuovassa peli aloitetaan alkutilasta, jossa populaatio on jaettu tasan yhteistyötä tekevien ja pettävien hiirten välille, pettävät hiiret tulevat lopulta valtaamaan populaation. Näin olen osoittanut, että HMP:ä on myös mielekästä soveltaa evolutiivisessa peliteoriassa.

Skyrms (2004, 9) tulkitsee, että yhteiskuntasopimukseen sitoutuminen tai yhteiskuntasopimuksen muokkaamisen yhteisen hyödyn vuoksi ovat molemmat ongelmia, jotka ovat luonteeltaan samankaltaisia kuin hirven metsästyksessä ilmenevä ongelma tasapainon tilasta siirtymisestä toiseen tasapainon tilaan. Skyrms väittääkin, että jotta olisi mielekästä muodostaa

yhteiskuntasopimus ylipäättensä, tulee luonnontilan muodostaa samanlainen tasapaino kuin jäniksiä metsästettäessä. Myöskin tila, jossa yhteiskuntasopimus on jo vallitseva, tulee olla hirven metsästäminen tasapainoa muistuttava tila. Muissa tapauksissa yhteiskuntasopimukseen ei ole yksilön kannalta mielekästä sitoutua (ks. matriisi 3.2.1). Yhteiskuntasopimuksen muodostamista tai uudistamista voisi verrata siirtymänä riskittömästä jäniksen metsästäminen tasapainosta riskialttiiseen, mutta palkitsevampaan hirven metsästäminen tasapainoon, jolloin ongelma on se, että rationaaliset pelaajat tarvitsevat perusteen siirtymälle.

Mikä sitten saa rationaaliset toimijat ottamaan riskin paremman lopputuloksen toivossa? Skyrmsin (2004, 10—13) mukaan historia kertoo meille, että yhteiskuntasopimukset ovat silloin tällöin itsestään hajonneet, mutta ihmiset ovat kuitenkin myös metsästäneet yhteistyössä toistensa kanssa. Skyrmsin (2004, 10—13) mukaan myöskin nykyaikaisista tutkimuksista peräisin oleva evidenssi viittaisi siihen, että ihmiset saattavat valita strategiakseen metsästää hirveä, vaikka siihen liittyisi riski. Tutkimukset osoittavat mm. että kun HMP on toistettu sattumanvaraisilla pareilla, joskus tutkimuskohteena oleva joukko muuntautuu kokonaan hirven metsästäjiksi, joskus taas jäniksen metsästäjiksi, riippuen eniten kulloisenkin strategian vetovoimaisuuden vallitsevuudesta alkutilassa. Skyrmsin omilla HMP arvoilla (taulukko 2.2.) hirven metsästäminen strategian levitäkseen koko populaatioon, tulisi alkutilassa hirven metsästäjiä olla vähintään 75 % koko populaatiosta, muussa tapauksessa jäniksen metsästyksen strategia leviää koko populaatioon (Skyrms 2004, 11—12).

Seuraavaksi tarkastelen mitkä kaikki seikat näyttävät vaikuttavan HMP:ssä pelaajien valintoihin kahden tasapainossa olevan tilan väliltä. Skyrms (2004) tutkii kolmea suurempaa osa-aluetta ja niiden merkitystä evolutiivisen peliteorian versioihin HMP:stä. Ensimmäiseksi lokaatio eli miten määritellyssä ympäristössä ryhmässä toimivaan pelaajaan vaikuttavat häntä ympäröivien muiden pelaajien valinnat ja mikä merkitys imitaatiodynamiikan ulottuvuudella on. Toinen osa-alue on signaalit, jotka ovat koko tutkimusta ajatellen kenties merkittävien osa-alue HMP:n tapauksessa. Mikä vaikutus signaalien välittämällä informaatiolla asiaintiloista ja mikä merkitys kommunikaatiolla on ylipäättensä valintamme kannalta? Kolmanneksi käsittelen lyhyesti, miten pelaajien luomat assosiaatiot toisista pelaajista vaikuttavat HMP:ssä pelin lopputuloksiin ja yhteistyön kehittymiseen.

## **2.2 Lokaation ja vuorovaikutuksen merkitys hirvenmetsästyspelissä**

Skyrms (2004, 17—18) ottaa tarkasteluun John Nashin kehittämän klassisen peliteorian pelin, jossa kaksi pelaajaa joutuvat jakamaan odottamattomasti heidän eteensä pudonneen rahan. Pelistä on



käytetty myös nimitystä dollarinjakopeli ja käytän tulevissa esimerkeissä tästä pelistä lyhennettä DJP. DJP on hyvin yksinkertainen esimerkki neuvottelupelistä, jossa pelaajien tulee esittää vaatimus haluamastaan hyödykkeiden arvosta ja mikäli yhteenlasketut vaatimukset eivät ylitä saatavilla olevien hyödykkeiden määrää, pelaajat saavat vaatimansa arvon verran hyödykkeitä. Jotta vaatimusten täytyttyä ei syntyisi mahdollista hyödykkeiden ylijäämää, tulee jakoon lisätä distributiivisen oikeudenmukaisuuden periaate optimaalisuudesta, jonka mukaan jako ei ole oikeudenmukainen, mikäli kaikki pelaajat hyötyisivät enemmän vaihtoehtoisesta tavasta suorittaa jako. Toinen distributiivisen oikeudenmukaisuuden periaate, jota voidaan soveltaa tähän peliin on tasa-arvoisen oikeudenmukaisuuden periaate, jonka mukaan pelaajien ollessa täysin symmetrisessä asemassa, tulisi molempien pelaajien saada yhtä paljon.

Mikäli kaksi pelaajaa pelaisivat DJP:ä edellämainituilla säännöillä ja distributiivisen oikeudenmukaisuuden periaatteita noudattaen ja pelaajat olisivat keskenään symmetriset, jako olisi loogisesti puolet ja puolet. Skyrmsin (2004) tekemä kiinnostava havainto onkin, että vaikka pelissä ei sovellettaisi mainittuja distributiivisen oikeudenmukaisuuden periaatteita lähtötilanteessa, jälleen tapahtuu sama ilmiö kuin vangin dilemmassa eli kun peliä pelataan riittävän monta kierrosta, tasajaosta tulee pelissä kannattavin strategia. Tarkastelen seuraavaksi mitä havaintoja Skyrms on tehnyt DJP:stä evolutiivisen peliteorian kannalta ja mikä yhteys näillä on HMP:in.

Alexanderin ja Skyrms teettivät tutkimuksen (Alexander & Skyrms 1999) koskien DJP:ä. Tutkimuksessa tietokone koeajoi simulaatiossa 100 000 kertaa pelin, jossa keskenään tuntemattomien pelaajien piti jakaa kymmenen kymmensenttistä<sup>7</sup>. Pelissä populaatio kehittyi replikaattoridynamiikan kaavan mukaisesti ja populaation suuruus tietylle strategialle seuraavassa sukupolvessa määrittäyty kaavalla strategian valinnee populaation määrä tässä sukupolvessa kerrottuna kelpoisuuskertoimella. Lopputulokseksi saatiin, että 57—63 % tapauksista vetovoimaisin strategia oli 5-5 tasajako. Kuitenkin polymorfismeja esiintyi, kuten 4-6 jako tai 3-7 jako, myös jakoa 1-9 esiintyi, mutta se oli erittäin harvinainen. Tasajako on DJP:ssä tasapaino, jota kohti peli etenee, mutta siihen voi ajallisesti kulua pitkäkin aika ennen kuin se saavutetaan. (Alexander & Skyrms 1999, 2—5, Skyrms 2004, 19—23.)

Alexander ja Skyrms (1999, 4—5) lisäksi huomauttavat Peyton Youngin tekemästä havainnosta koskien DJP:n kaltaisia neuvottelupelejä. Youngin mukaan, sitä mukaa kun pelaajan kokeellisuuden todennäköisyys lähestyy nollaa, tasajaon tilassa vietetyn ajan suhde lähestyy todennäköisyydeltään ykköistä. Youngin termein Skyrms nimittää tasajakoa tässä DJP:n esimerkissä näin ollen

---

<sup>7</sup> Valuuttayksikkö alkuperäisestä pelistä muutettu selkeyden vuoksi.

stokastisesti vakaaksi tasapainoksi. Skyrms (2004, 23) linkittää tämän Youngin termin HMP:in siten, että hänen mukaansa HMP:ssä tilanne, jossa kaikki pelaajat metsästävät jänistä on luonteeltaan myöskin stokastisesti vakaa tasapaino.

Tilanne kuitenkin muuttuu huomattavasti, kun pelin asetelmaa muokataan siten, että pelaajat eivät pelaa peliä tuntemattomien kanssa, vaan naapurustoissa. Skyrms (2004, 23—29) viittaa Alexanderin (2000) teettämään tutkimukseen, jossa Alexander oli tutkinut miten 10 000 pelaajan populaatio käyttäytyy DJP:ssä, jossa pelaajat pelaavat 100x100 neliön muotoisessa ristikossa, Mooren naapuruston (8) mukaisesti kahdeksaa ympärillään olevaa naapuria vastaan ja dynamiikan määrittävä sääntö seuraavalle sukupolvelle on, että pelaajat imitoivat naapurustossa parhaiten suoritunutta pelaajaa.<sup>8</sup> Pelaaja aluksi siis pelaa DJP:ä jokaista naapuriaan vastaan, minkä jälkeen hän joko tekee päätelmän pysytellä strategiassaan tai vaihtaa sitä perustuen siihen pärjäsikö yksikään hänen naapureistaan häntä paremmin. Tasatilanteissa kolikon heitto ratkaisee pelaajan valinnan.

Tutkimuksesta Skyrms (2004, 23—29) nostaa esille erityishuomion: lähes jokaisessa koeajossa populaatio päätyi tasajaan tasapainoon, tarkemmin 99,5 % koeajoista. Ainoastaan koeajot, joissa aloituspopulaatiossa tasajaan strategian valinneita oli alle 17 kappaletta eivät päätyneet tasajaan tasapainoon. Populaatio päätyi tasajaan malliin myös suhteellisen nopeasti, noin 16. sukupolvessa. Toinen kenties merkittävin havainto tutkimuksesta oli, että mikäli simulaatio aloitettiin siten, että tasajaan strategia ei ollut vaihtoehtona, johti simulaatio jaon 4-6 tasapainoon, minkä jälkeen pelaajille mahdollistettiin kokeilemisen mahdollisuus, syntyi pieni määrä mutaatioita eli pelaajia, jotka valitsivat tasajaan strategian. Lopulta nämä mutaatiot saivat aikaan koko populaation muuntautumisen tasajaan strategiaan.

Skyrms (2004, 25) tekee tästä saman johtopäätöksen kuin mihin Alexander & Skyrms (1999) tutkimuksessaan päätyivät: Oikeudenmukaisuus on tarttuvaa naapuruston vuorovaikutuksessa. Tämän johtopäätöksen vastapainoksi Skyrms (2004, 25—26) toteaa, että mikäli sama simulaatio koeajettiin sillä erolla, että jokaisen kierroksen jälkeen naapurustot generoitiin sattumanvaraisesti uudelleen, oli lopputulos lähempänä Alexanderin ja Skyrmsin (1999) tutkimuksen lopputuloksia eli polymorfismeja esiintyi huomattavasti enemmän tasajaan rinnalla. Skyrmsin (2004, 26—29) johtopäätös tästä on se, että ympäristön ja siinä vuorovaikuttavien pelaajien säilyessä vakioina ympäristöön syntyy tehokkaiden strategioiden kimppuja. Kimputtumisen ja paikallinen vuorovaikutus puolestaan johtavat samanlaisten strategioiden positiiviseen korrelaatioon, joka on

---

<sup>8</sup> Skyrms (2004, 23—24) huomauttaa, että Alexanderin tutkimuksessa tulokset eivät juurikaan eronneet, vaikka Mooren naapuruston (8) sijaan tutkimuksessa olisi käytetty pienempää von Neumanin naapurustoa (4).

väistämätön seuraus paikallisen vuorovaikutuksen dynamiikasta. Positiivinen korrelaatio suosii tasajakoa polymorfisten jakojen sijaan ja näin ollen kun syntyy pieni joukko tasajakoa strategiana suosivia pelaajia, tämä strategia leviää koko populaatioon.

Aiemman DJP:n on tarkoitus antaa suuntaa sille miten HMP:ssä voitaisiin siis siirtyä jäniksen metsästyksen tasapainosta hirven metsästyksen tasapainoon, joka on rationaalisten agenttien tapauksessa ongelma kuten tutkimuksessa aiemmin on osoitettu. Sikäli kun jäniksen metsästyksen tasapaino on luonteeltaan samankaltainen stokastisesti vakaa tasapaino, se on hyvin ongelmallinen HMP:ssä, koska ideaalisti haluaisimme pyrkiä jäniksen metsästyksen tasapainosta hirven metsästyksen tasapainoon, mutta vaikuttaisi alustavasti siltä, että jäniksen metsästyksen tasapaino kykenee levittäytymään ja ajallisesti ylläpitämään itseään ja siihen päädyttyä, todennäköisyys muuntautua siitä pois on erittäin pieni.

Skyrms (2004, 31—35) viittaa kirjassaan Glenn Ellisonin tutkimukseen, jossa ympyrään järjestäytyneet pelaajat pelaavat hirven metsästystä naapureitaan vastaan taulukon 2.7. arvojen mukaisesti. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivillä oleva strategia pelataan pystyrivillä olevaa strategiaa vastaan ja ainoastaan vaakarivin pelaaja saa taulukossa ilmoitetun lopputuloksen. Tutkimuksesta selvisi, että populaatio oli suurimman osan ajasta jäniksen metsästyksen tasapainossa, mikä vahvistaa aiemmin esitettyjä näkemyksiä ja ei ratkaise ongelmaa tasapainojen välisestä siirtymästä, vaan pikemminkin vahvistaa sitä.

	Hirvi	Jänis
Hirvi	3	0
Jänis	2	2

Taulukko 2.7. Glenn Ellisonin HMP arvot.

Skyrmsin (2004, 32—34) omat tutkimukset kuitenkin osoittavat toisin. Skyrms tutki miten kävisi, jos hirvenmetsästyspeli pelattiin samoilla säännöillä kuin aiempi DJP ja Ellisonin arvoilla. Tutkimusasetelma oli siis 100x100 neliön muotoinen ristikko, pelaajat pelaavat jokaista naapuriaan vastaan Mooren naapurustossa (8) HMP:ä, jossa onnistunut hirven metsästys tuotti arvon 3, jäniksen metsästys aina arvon 2 ja epäonnistunut hirven metsästys aina arvon 0. Replikaattoridynamiikkaa määrittävä sääntö oli *imitoi parasta naapurua* ja aloituspopulaatiosta puolet olivat hirven metsästäjiä ja puolet jäniksen metsästäjiä. Skyrmsin yllätykseksi 99 % koeajoista hirven metsästäjät ottivat populaation haltuun.

Skyrms (2004, 33—36) löytää kaksi ongelmaa Ellisonin mallista verrattuna hänen omaan malliinsa.

Ensinnäkin hän huomauttaa, että tulevaisuuden merkitys on yksi seikka, joka saa populaation valitsemaan strategiansa eri tavalla, mitä ei Ellisonin pelissä ole otettu huomioon. Toisekseen, Skyrms tulkitsee ristiriitaisten tuloksien luonteen piilevän siinä, miten pelaajat ovat sijoitettu ja miten pelaajat ovat vuorovaikutuksessa naapuriensa kanssa, esim. Ellisonin ympyrämallissa pelaaja on vuorovaikutuksessa vain kahden naapurinsa kanssa, jolloin hirven metsästyksessä saadun lopputuloksen hyödykkeiden keskiarvo on  $1\frac{1}{2}$ , kun taas jäniksen metsästyksen hyödykkeiden keskiarvo on 2, mikä tarkoittaa sitä, että jäniksen metsästys muodostaa pelissä riskihallitsevan tasapainon, mikä toisaalta myös selittää Ellisonin tuloksia.

Skyrmsin mallissa erityisesti lokaatiolla on merkitystä. Nimittäin ristikon sisällä hirven metsästäjillä on merkittävä etu jäniksen metsästäjiin nähden kulmissa. Sikäli kun dynamiikkaa ohjaa sääntö imitoi parasta naapurua, jäniksen metsästäjät eivät kykene kääntymään hirven metsästäjiä tai toisinpäin, mikäli nämä sijoittuvat ristikolla vierekkäin. Kuitenkin, kun jäniksen metsästäjä pelaa kulmanaapuriaan vastaan, joka on hirven metsästäjä, jota ympäröivät muut hirven metsästäjät, tämä huomaa, että hirven metsästäjän strategia on tuottoisampi kuin yksikään tämän jänistä metsästävän naapurin. Jäniksen metsästäjä saa kokonaisarvokseen aina 16, kun taas hirven metsästäjä, jota ympäröi vähintään kuusi hirven metsästäjää, saa aina suuremman arvon, jolloin dynamiikan sääntöä noudattaen, kulmassa sijaitseva jäniksen metsästäjä vaihtaa strategiaansa seuraavalle kierrokselle. Tämä on juurikin syy sille miksi jäniksen metsästäjien populaatio Skyrmsin mallissa lähes aina muuntautuu hirven metsästäjien populaatioksi.

Skyrms lisäksi huomauttaa, että dynamiikkaa voitaisiin tarkastella myös säätelemällä naapurustojen dynamiikkaa. Skyrms (2004, 40) antaa tästä esimerkkinä Eshelin, Sansomen ja Shakedin ehdotuksen muokata lähtöasetelmaa siten, että on kaksi erillistä naapurustoa, vuorovaikutusnaapurusto, jossa pelaajat pelaavat toisiaan vastaan ja imitointinaapurusto, johon sovelletaan kulloinkin kyseessä olevaa replikaattoridynamiikan sääntöä. Näin esimerkiksi laajentamalla imitointi naapurustoa, jossa pelaajat pystyvät paremmin havaitsemaan ympärillään pelatut strategiat ja niiden lopputulokset, tämä suosii erityisesti HMP:n tapauksessa hirven metsästäjiä, koska todennäköisyys, että naapurustossa on vähintään yksi parhaiten menestynyt hirven metsästäjä kasvaa huomattavasti, mikä puolestaan johtaa hirven metsästäjien nopeaan populaation haltuun ottoon.

Viimeiset johtopäätökset, jotka Skyrms (2004, 40—42) tekee koskien paikallista vuorovaikutusta ja imitointidynamiikan merkitystä on se, että VD on luonteeltaan peli, jonka asetelmaa hallitsee periaate 'valitse paras reaktio', joka VD:ssä on strategia 'pela aina pettää'. Sen sijaan VD:an

lisättäessä imitaation ja lokaalin vuorovaikutuksen mahdollisuus, joissakin VD:n säännöillä toteutetuissa peleissä pelaajat voisivat päätyä tekemään kaikki yhteistyötä. Skyrmsin tärkein väite onkin, että paikallisen vuorovaikutuksen rakenteilla on suuri merkitys evolutiivisen peliteorian, VD:n ja HMP:n kannalta. Vuorovaikutus ei kuitenkaan kaikissa peleissä välttämättä kehity yhteistyöhön kannustavaksi. Esimerkiksi Michael Doebeli & Cristoph Hauert (2004) ovat tutkineet miten haukka ja kyyhky -peiliä muistuttavassa lumikinos pelissä spatiaalisella alustalla vuorovaikutus kehittyi. Tutkimuksessa Doebeli ja Hauert päätyivät siihen tulokseen, että pelien toteuttaminen spatiaalisella alustalla, jossa pelaajat ovat vuorovaikutuksessa keskenään, ei universaalisti johda yhteistyön kehittymiseen. Tämä tutkimustulos oikeastaan implikoi sitä, että vuorovaikutusta ja ympäristöä tulisi tutkia evolutiivisen peliteorian yhteydessä laajemmin.

### 3.0 Signaalit, sopimukset ja koordinaatiopelit

Signaalit ovat läsnä jokapäiväisessä sosiaalisessa kanssakäymisessämme. Signaali voi olla esimerkiksi se, että nyökkää tuttavalle kun hän tulee vastaan kadulla tai liikennevalon vaihtuminen punaisesta vihreäksi. Jokainen näistä signaaleista ilmaisee eri asiaa, joten on olennaista, että pystymme tulkitsemaan niitä oikein. Signaalit ovat erittäin keskeisessä roolissa yrittäessämme ratkaista koordinaatio-ongelmia. Koordinaatio-ongelmat ovat myös tilanteita joita ilmenee jokapäiväisessä elämässämme. Jokainen varmasti on ollut tilanteessa, jossa kävelee kapealla käytävällä ja vastaan tulee toinen henkilö. Molemmat yrittävät väistää samaan suuntaan, ja sama toistuu kunnes toinen osapuoli joko antaa toiselle tietä, ilmoittaa mitä on aikomuksissaan tehdä tai kenties henkilöt törmäävät. Ideaalisti haluamme välttää törmäämisen ja päästä vain mahdollisimman nopeasti jatkamaan matkaamme, joten yleisen sopimuksen kuten "kävele aina oikealla puolella" noudattaminen (mikä toisaalta ei välttämättä ole sopimus kaikkialla) tai sanallisen signaalin antaminen voi ratkaista koordinaatio-ongelmamme.

Signaalit ovat käytännöllinen tapa ratkaista koordinaatio-ongelmia, mutta edellyttävät sopimusta signaalien tulkitsemista. Esimerkiksi voidaan olettaa, että kaikki sivistyksen parissa eläneet tietävät, että liikennevalojen punainen pitää sisällään viestin, että sen vaikutuspiirissä olevien tulisi pysähtyä ja odottaa, kun taas vastaavasti vihreä valo tulkitaan luvaksi liikkua eteenpäin. Sikäli kun kaikki noudattavat näitä tulkintoja liikennevalojen eri signaalien merkityksistä, liikennevalot mahdollistavat meille turvallisemman ympäristön ollessamme vilkkaassa liikenteessä. Liikennevalojen eri signaalien merkitykset ja niiden tulkinta perustuvat siis yhteiselle sopimukselle, jota kaikki noudattavat. Olennaista on, että kaikki noudattavat samaa sopimusta liikennevalojen suhteen, mutta sopimuksen sisältö voisi yhtä hyvin olla, että punainen valo on signaali luvasta edetä ja vihreä valo olisi signaali pysähtymiselle. Lopputuloksena olisi sama turvallinen liikenne. Näin ollen voidaan väittää, että liikennevalojen signaalisopimusta noudattamalla päädytään Nashin tasapainoon, koska sopimuksesta poikkeaminen ei koskaan johda yksilön kannalta parempaan lopputulokseen, koska kukapa haluaisi joutua liikenneonnettomuuteen. Sopimukset ovatkin yksi keskeisimmistä yhteistoiminnan mahdollistavista tekijöistä ja myöskin filosofisesti kiinnostava aihe.

Tässä luvussa perehdyn signaaleihin, sopimuksiin ja koordinaatiopeleihin. Kuten jo aiemmin todettiin, signaalit perustuvat yhteisille sopimuksille siitä, miten signaali pitäisi tulkita. Sopimukset ovat välttämättömiä onnistuneen yhteistoiminnan koordinoimiseksi. David Lewis käsittelee perinpohjaisesti sopimuksia ja niiden ehtoja kirjassaan *Convention : A Philosophical Study* (1969).

Lewis perehtyy myös siihen miten signaalit ja kommunikaatio perustuvat yhteisille sopimuksille. Skyrms tekee lyhyen katsauksen signaaleihin jo HMP:tä käsittelevässä teoksessaan, mutta hän käsittelee aihetta lisäksi artikkelissaan *Signals, Evolution and the Explanatory Power of Transient Information* (2002) ja perehtyy asiaan laajemmin teoksessaan *Signals – Evolution, Learning, & Information* (2010). Tässä luvussa selitän mainitun aineiston pohjalta miten päädyimme sopimukseen ja miten ne pysyvät voimassa, minkä jälkeen selitän miten signaalien avulla on mahdollista välittää informaatiota, miten signaalipelit toimivat ja miten signaalit ovat ratkaisevassa roolissa yrittäessämme ratkaista HMP:n ongelman siirtymästä kahden eri Nashin tasapainon välillä.

### 3.1 Sopimukset

Esitin tutkimuksessa jo aiemmin kysymyksen siitä, miten luottamus pelaajien välillä voi kehittyä. Seuraavaksi tutkin peliteoreettisesta näkökulmasta, miksi sopimukset edistävät luottamusta niitä sitovien välillä. Lisäksi selvitän miksi luottamus on ainakin osittain riippuvainen ihmisten välisistä sopimuksista ja miten se voi kehittyä sopimusten avulla.

Sopimuksia on monenlaisia, ne voivat olla suullisia tai kirjallisia ja ne rajaavat ketkä kuuluvat sopimuksen vaikutuspiiriin. Yksinkertainen sopimus on esimerkiksi yhteinen lounas ystävän kanssa tietyssä paikassa tiettyyn aikaan, kun taas aiemmin tutkimuksessa mainittu yhteiskuntasopimus on hyvin monimutkainen sopimus monelta osin. Jotta voisimme puhua sopimuksista yleisesti, mutta filosofisesti merkittävällä tasolla, määrittelen sopimuksen Lewisin (1969, 58) termein. Lewis määrittelee sopimuksen käsitteen seuraavasti:

"Säännöllisyys  $S$  populaation  $P$  jäsenten käyttäytymisessä heidän ollessa agenteja toistuvassa tilanteessa  $T$  on *sopimus*, jos ja vain jos on sekä tosi, että yleistä tietoa  $P$ :lle, että missä tahansa tilanteessa  $T$ ,  $P$ :n jäsenten keskuudessa ,

- (1) kaikki noudattavat  $S$ ;
- (2) kaikki edellyttävät kaikkien muiden noudattavan  $S$ ;
- (3) kaikki mieluummin noudattavat  $S$  sillä ehdolla, että muutkin noudattavat sitä, sillä  $T$  on koordinaatio-ongelma ja yhtenäinen mukautuminen  $S$  on koordinaatiotasapaino tilanteessa  $T$ .<sup>9</sup> (Lewis 1969, 58)

Oleellista sopimuksille on siis, että kaikki sopimuksen piiriin kuuluvat toimivat niin kuin sopimus heiltä edellyttää. Tämä myös luo sopimuksen piiriin kuuluville yksilöille uskomuksen, että muut sopimukseen kuuluvat yksilöt noudattavat sopimusta. Yksi kaikista olennaisin piirre sopimuksille, jonka Lewis (1969, 57—59) ja Skyrms (2004, 50—52) nostavat esille on kuitenkin yleinen tieto sopimuksesta ja yleinen tieto siitä, että kaikki sopimuksen vaikutuspiirissä olevat noudattavat

9 Kursiivit muutettu selkeyden vuoksi vastaamaan suomennosta.

sopimusta. Tämä seikka yleisestä tiedosta agenttien keskuudessa mahdollistaa aidon Nashin tasapainon muodostumisen sopimuksen vaikutuspiirissä olevien agenttien välille eli sopimuksesta poikkeaminen johtaa välttämättä huonompaan lopputulokseen kuin siinä pysyminen. Esimerkiksi sakottamalla sopimuksesta poikkeamisesta pyritään takaamaan sopimuksen kunnioittaminen, koska yksilön mahdollinen sopimuksesta poikkeamisesta saatu hyöty kumoutuu sakoista aiheutuvalla haitalla. Erona käytännön ja peliteoreettisten mallien välillä tulee kuitenkin muistaa, että klassisessa peliteoriassa kaikki agentit oletetaan rationaalisiksi, mutta käytännössä ihmiset voivat valita myös toimia irrationaalisesti. Näin ollen on mielekästä tarkastella tätä seikkaa sopimuksista evolutiivisen peliteorian näkökulmasta, koska siinä voidaan ottaa pelaajien irrationalisuus jossakin määrin huomioon.

Keskeinen seikka, mikä ei kuitenkaan käy Lewisin määritelmästä ilmi on miksi sopimuksia muodostetaan ylipäätänsä. Lähtökohtaisesti sopimuksista tulee olla kaikille sopimuksen osapuolille jotain hyötyä, jotta olisi syytä muodostaa sopimus ylipäätänsä, mutta sopimuksen tulee olla myös rakenteeltaan itsensä toimeenpaneva. Itsensä toimeenpaneva sopimus Antony de Jasayn (1989, 25—28) mukaan edellyttää sitä, että sopimuksen osapuolten sopimuksen noudattaminen muodostaa tasapainon, josta kummankaan osapuolen ei ole rationaalista poiketa, ellei toinen tee sitä ensin. Tämän voisi ilmaista myös toisin väittämällä, että sopimuksesta tulee löytyä aito Nashin tasapaino. Aiempaan liikenneturvallisuuden esimerkkiin viitaten voidaan ajatella, että sitoutumalla yhdessä noudattamaan sopimusta liikennevalojen noudattamisesta, kaikki hyötyvät jaetusta turvallisuudesta. Toiseksi turvallisuuden hyödyn tulee olla vähintään suurempi kuin esimerkiksi mahdollisimman nopeasti paikasta toiseen pääsemisen hyöty, jotta sopimuksesta ei olisi houkuttelevaa poiketa tilanteen sen salliessa. Näin ollen liikennevalojen noudattamisen hyödyn tulee muodostaa aito Nashin tasapaino, jotta sopimuksesta pidetään kiinni.

Lewisin (1969, 8—9) analyysin merkittävä huomio sopimusten muodostumisesta onkin, että agenttien muodostamasta sopimuksesta tulee löytyä Nashin tasapaino, jotta yksikään sopimukseen sitoutunut ei voisi parantaa omaa asemaansa pelkästään muuttamalla omaa toimintaansa. Sopimuksien Nashin tasapainoon pätee kuitenkin myös sama ongelma kuin VD:n tapauksessa, koska vaikka sopimuksen tulee sisältää Nashin tasapaino, se ei välttämättä ole sopimuksen osapuolten kannalta pareto-optimaalinen. Tämä selittää myös miksi VD:ssa ei ole mielekästä ajatella, että kaksi toisilleen tuntematonta pelaajaa solmisivat sopimuksen keskenään pysyä vaii. Sen sijaan HMP:ssä on olemassa kaksi eri vaihtoehtoa sopimukselle, joka täyttäisi edellämämainitun Nashin tasapainon ehdon: joko kaikki pelaajat sopivat metsästävänsä hirveä tai kaikki metsästävät jänistä. Palaamme jälleen ydinongelman pariin eli miten ja miksi pelaajat jo solmittuaan



sopimuksen metsästää jänistä päättäisivät tehdä uuden sopimuksen metsästää hirveä?

### 3.2 Signaalit ja signaalijärjestelmät

Kommunikaatio perustuu yhteisille sopimuksille signaaleista ja niiden tulkinnoista. Jotta voisimme ymmärtää mitä jokin yksittäinen signaali tarkoittaa, meillä tulee olla yhteinen sopimus sen merkityksestä. Kun meillä on sopimus eri signaalien merkityksestä, muodostuu signaalijärjestelmä. Myös kieleemme käyttäytyy näin, jokaista sanaa jokin merkitys ja yhteinen sopimus sanojen merkityksistä muodostaa signaalijärjestelmään verrattavissa olevan kielen. Kaikki, jotka ymmärtävät kieltä, osaavat toimia kielellisten ilmaisujen mukaisesti. Sama pätee signaalijärjestelmiin. Lewisin (1969) suuri väite onkin, että kielet (jotka ovat signaalien tasapainoja) ja kielten yksittäisten sanojen (jotka ovat signaaleja) analyyttiset ominaisuudet perustuvat sopimuksille merkityksistä (jotka luovat signaalijärjestelmät). En kuitenkaan tämän tutkimuksen yhteydessä paneudu Lewisin teoksen kielifilosofisiin anteihin, mutta ne ansaitsevat tulla mainituksi signaaleista puhumisen yhteydessä.

Peliteoreettinen yhteys, johon Lewis soveltaa signaaleja ovat koordinaatio-ongelmat. Lewis (1969, 24) määrittelee koordinaatio-ongelmat seuraavasti: "Koordinaatio-ongelmat — ... .. — ovat tilanteita, joissa kahden tai useamman agentin toisistaan riippuvia valintoja hallitsee intressien samankaltaisuus ja joissa on kaksi tai useampia koordinaatiolle ominaisia tasapainoja." HMP:n tilannetta voidaan luonnehtia koordinaatio-ongelmaksi, koska agenteilla on yhteiset intressit menestyä mahdollisimman hyvin ja pelistä on löydettävissä kaksi koordinaation tasapainoa. Lewis (1969, 7) käyttääkin samaa Rousseau'n tarinaa hirvenmetsästyksestä esimerkkinä koordinaatio-ongelmasta.

Hyvin yksinkertainen signaalipeli, jossa esiintyy koordinaatio-ongelma ja jolla voidaan kuvata merkitysten sopimusriippuvaisuutta on Lewisin (1969) muotoilema lähettäjä-vastaanottajapeli. Skyrms (2002, 408) tiivistää pelin idean seuraavasti:

"Yhdellä pelaajalla, joka toimii lähettäjänä, on jotakin henkilökohtaista tietoa todesta asiintilasta. Toisen pelaajan, joka toimii vastaanottajana, tulee valita toimintansa, jonka lopputulos, joka on molemmille pelaajille sama, riippuu siitä, millainen asiintila vallitsee. Lähettäjällä on käytössään signaaleja, joita hän voi lähettää vastaanottajalle, mutta niillä ei ole eksogeenisesti määriteltyjä merkityksiä. Lewisin mallissa signaaleja, asiintiloja ja toimintoja on aina täysin sama määrä."

Esimerkkinä alla taulukossa 3.1. on kuvattuna yhden mahdollisen lähettäjä-vastaanottajapelin arvot, jossa on kolme asiintilaa ( $A$ ), signaalia ( $S$ ) ja toimintaa ( $T$ ), arvon 1 vastaten onnistumista ja arvon 0 epäonnistumista. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivin strategia pelataan pystyvirin

strategiaa vastaan. Sarakkeissa ensimmäinen luku kuvastaa taulukossa vaakarivin pelaajan hyödyn arvoa, jälkimmäinen luku vastaavasti pystyrivin pelaajan hyödyn arvoa.

		Vastaanottaja		
		Toiminta 1	Toiminta 2	Toiminta 3
Lähettäjä	Asiintila 1	1 / 1	0	0
	Asiintila 2	0	1 / 1	0
	Asiintila 3	0	0	1 / 1

Taulukko 3.1. Esimerkki lähettäjä-vastaanottaja pelin arvoista

Tulee huomioida, että kuvaajasta ei käy ilmi mitä signaaleja lähettäjä on lähettänyt. Olennaista on, että vastaanottaja tulkitsee lähettäjän signaalit oikein toimimalla vallitsevan asiintilan edellytysten mukaisesti. Jotta lähettäjä ja vastaanottaja onnistuisivat pelissä kaikissa eri vaihtoehtoisissa asiintiloissa, jotka löytyvät kuvasta 3.1. soluista  $(A1, T1)$ ,  $(A2, T2)$  ja  $(A3, T3)$ , pelaajilla tulee olla käytössä strategiat, jotka muodostavat signaalijärjestelmän. Taulukon 3.1. perusteella on valittavissa useita eri strategioita, jotka muodostavat signaalijärjestelmiä, joten pelaajien välillä tulee vallita sopimus siitä mitä signaalijärjestelmää käyttää. Kaksi esimerkkiä vaihtoehtoisista signaalijärjestelmistä, jotka molemmat toimivat taulukon 3.2. arvoilla ovat kuvattuna alla kuvassa 3.2.

<b>A1→S1→T1</b>	<b>A1→S3→T1</b>
<b>A2→S2→T2</b>	<b>A2→S1→T2</b>
<b>A3→S3→T3</b>	<b>A3→S2→T3</b>

Kuva 3.2. Kaksi vaihtoehtoista strategiaa, jotka muodostavat signaalijärjestelmän.

Kuvan 3.2. vaihtoehdot eivät ole myöskään ainoat strategiat, jotka muodostavat signaalijärjestelmän. Skyrms (2004, 50—55, 2002, 408—409) huomauttaa kuitenkin, että vaikka Lewisin lähettäjä-vastaanottajapelissä on löydettävissä useita eri Nashin tasapainossa olevia strategioita, kaikki niistä eivät muodosta signaalijärjestelmiä. Esimerkiksi strategiat, joissa lähettäjä ei huomioi asiintilaa, vaan lähettää aina saman signaalin tai vastaanottaja, joka ei huomioi signaalia vaan valitsee aina saman toiminnan ovat Nashin tasapainon muodostavia strategioita, mutta kumpikaan ei ole signaalijärjestelmä. Signaalijärjestelmät lähettäjä-vastaanottajapeleissä ovat kuitenkin aitoja Nashin tasapainoja, koska strategiasta poikkeaminen johtaa välttämättä aina huonompaan lopputulokseen. Tästä Skyrms (2004, 54) tekee johtopäätöksen, että Lewisin lähettäjä-vastaanottajapeleissä signaalijärjestelmät ovat sopimuksia Lewisin määritelmän mukaisesti. Lisäksi Skyrms (2014, 91) huomauttaa, että lähettäjä-vastaanottajapeleissä ainoastaan signaalijärjestelmät ovat evolutiivisesti stabiileja strategioita.

Soveltamalla replikaattoridynamiikkaa Lewisin lähettäjä-vastaanottajapeleihin, Skyrms (2004, 58 & 2010, 9—12) on tutkinut miten pelien evoluutio käyttäytyy. Asetelmassa Skyrms tutki pelejä, joissa oli kaksi asiaintilaa, signaalia ja toimintaa. Skyrms tutki pelejä kahdella eri mallilla, toisessa mallissa oli erikseen **lähettäjien** ja erikseen **vastaanottajien** populaatiot, toisessa mallissa puolestaan oli yksi populaatio, jonka jäsenet olivat välillä **lähettäjän** ja välillä **vastaanottajan** roolissa. vaikka lähtötilanteessa populaatioiden strategioille oli useita tasapainoja, populaatiot ajautuivat evoluution myötä molemmissa koetapauksissa kahteen signaalijärjestelmään, muodostaen kaksi aitoa Nashin tasapainoa.

Skyrmsin (2010, 95—99) kiinnostava havainto lähettäjä-vastaanottajapeliin suhteen koskee vapaamatkustajia. Skyrms havaitsi, että mikäli lähettäjä-vastaanottajapeliä muutetaan siten, että signaalien lähettäminen ei ole ilmaista tai riskitöntä, vaan signaalin lähettämisestä koituu lähettäjälle hyvin pieni negatiivinen arvo, yhteistyön aiempi houkutus katoaa.<sup>10</sup> Käytännön esimerkkinä Skyrms käyttää eläinten käyttämiä varoitussignaaleja saalistajista. Antaessaan varoitussignaalin laumalleen, signaalin lähettäjä asettaa itsensä vaaraan, koska tämä saattaa kiinnittää saalistajan huomion, eikä näin ollen saa itse hyötyä signaalin lähettämisestä, toisin kuin signaalin vastaanottajat saavat. Tästä seuraa, että strategia, johon sisältyy signaalien lähettäminen negatiivisen lopputuloksen nojalla ei ole evolutiivisesti stabiili, koska vapaamatkustavat mutanttistrategiat voivat ujuttaa itsensä populaatioon. Tämä johtuu siitä, että vapaamatkustajat jättävät signaalin antamatta havaitessaan itse saalistajan, eivätkä näin ollen kärsi lähettäjänä olemisen haittoja, mutta pystyvät ottamaan irti vastaanottajana olemisen hyödyt. Sikäli kun populaatio koostuu vain vapaamatkustajan ja signaalijärjestelmää noudattavien strategioista, sisältäen myös negatiivisen seurauksen koituvan lähettäjälle signaalin lähettämisestä, lähettäjä-vastaanottaja peli muuttuu luonteeltaan vangin dilemmaksi.

Vangin dilemma on ideaalinen tilanne vapaamatkustajille kuten on jo aiemmin tutkimuksessani todettu, joten pelissä ei tuolloin voi syntyä kestävästä yhteistyöstä ilman, että peliä pelataan useita kierroksia. Mutta mikäli lähettäjä-vastaanottajapeliin lisätään vielä strategioiden korreloimisen mahdollisuus, kuten tehtiin hirvenmetsästyspelinkin tapauksessa, jo hyvin pieni strategioiden välisen korrelaation todennäköisyys saa aikaan sen, että signaalijärjestelmää noudattava strategia valtaa koko populaation. Tämä viittaa siihen, että pienikin positiivinen korrelaatio strategioiden kohtaamisen välillä varmistaa sen, että koko populaatio ei täyty vapaamatkustajista, vaan pikemminkin ehkäisee niiden syntymisen mahdollisuutta. Vastaavasti voidaan havaita, että mikäli lähettäjät aina saavat hieman huonomman tuloksen kuin vastaanottajat, ei lähettäjänä toimiminen

---

<sup>10</sup> Tulee huomioida, että tuolloin ei ole kyseessä Lewisin lähettäjä-vastaanottajapeli.

ole evolutiivisesti stabiili strategia.

### 3.3 Signaalit ja halpa puhe hirvenmetsästyspelissä

Monista peleistä, joita pelataan päivittäin on löydettävissä signaaleja, jotka peliteoriassa kategorisoitaisiin termin 'cheap talk' eli halpa puhe alle. Halvalla puheella tarkoitetaan peliteoreettisessa kontekstissa signalointia, mistä ei aiheudu lähettäjälle tai vastaanottajalle kustannuksia, voidaan puhua myös ilmaisesta informaatiosta. Halvan puheen mahdollisuus voidaan lisätä peliin joko niin, että se voidaan suorittaa ennen koko pelin aloittamista tai aina kierrosten välissä. Peliteoriaan helposti kytkettäviä esimerkkejä käytännön elämästä 'halvalle puheelle' on löydettävissä urheilusta, esimerkiksi baseballista ja amerikkalaisessa jalkapallosta. Kyseisissä urheilulajeissa on yleistä, että joukkueilla on käytössään signaalijärjestelmä, jonka avulla joukkueen pelaajat ja valmentaja voivat kommunikoida käsimerkein tai koodikielellä seuraavan tilanteen strategiasta pelin ollessa pysähdyksissä. Idea on siinä, että tilanteet vaativat joskus nopeaa koordinoimista, jotta pelaajat onnistuvat hyvään yhteispeliin, kuitenkin paljastamatta vastustajalle aikomuksiaan. Taitavimmat vastustajat kuitenkin voivat oppia tulkitsemaan myös pelaajien käyttämiä signaaleja ja ennakoimaan mitä pelaajat aikovat tehdä seuraavassa pelitilanteessa, käyttäen tätä sitten omaksi hyödykseen. Lisättäessä halpa puhe evolutiivisen peliteorian peleihin, siitä voi olla pelaajille sekä hyötyä, että haittaa. Tarkastelen siis tässä luvussa mitä Skyrms on kirjoittanut halvasta puheesta evolutiivisen peliteorian ja HMP:n yhteydessä.

Skyrms (2002, 2004) on tarkastellut miten signaalit ja erityisesti kustannukseton signalointi vaikuttavat HMP:n dynamiikkaan. Skyrms antaa kunnian termin 'cheap talk' eli halpa puhe soveltamisesta evolutiivisen peliteorian kontekstissa Arthur Robsonille, joka kirjoitti aiheesta artikkelissaan "*Efficiency in Evolutionary Games: Darwin, Nash and the Secret Handshake*" vuonna 1990<sup>11</sup>. Kun signaalin lähettämisestä koituu negatiivinen arvo tai hyöty lähettäjälle, tulee signaloinnista huomattavasti vähemmän kannattavaa. Tässä luvussa tutkitaan ja tullaan toteamaan, että kustannukseton signaalin lähettäminen sen sijaan tuottaa hyvin monipuolisia strategioita, jotka ovat enemmän yhteistyöhön taipuvaisia.

Skyrmsin (2004, 66—67) mukaan Robsonin havaintoihin kuului muun muassa erityisenä piirteenä se, että mikäli evolutiivisessa VD:ssa pelaajien välille mahdollistettiin kustannuksista vapaat ennen peliä lähetettävät signaalit, pelissä vallitseva *pettämisen tasapaino* horjuu. Tätä voidaan kuvata

---

<sup>11</sup> Robsonin artikkeli julkaistu alunperin jounaalissa 'Journal of Theoretical Biology, Vol. 144, Issue 3, 1990, 379-396', mutta tutkimuksen kirjoittajalla ei ollut pääsyä alkuperäiseen artikkeliin, joten luotan Skyrmsin sanaan tämän kohdalla.

siten, että pelaajat voisivat ennen varsinaisen pelin aloittamista sopia yhteisistä käsimerkeistä, jotka kertovat pelaajan aikeista. Evolutiivisen VD:n kontekstissa pelaajien intresseissä on sopia käsimerkkien avulla yhteistyön tekemisestä eli kun molemmat pelaajat aikovat pelata toiminnon *pysyä vaiti*. Tämä dynamiikka rikkoo evolutiivisessa VD:ssa *pettämisen tasapainon* siksi, koska pelaajat, jotka noudattavat strategiaa '*tee yhteistyötä*' kun vastaanotat tai lähetät signaalin, muulloin *petä*', saavat paremman lopputuloksen kuin pelaajat, jotka noudattavat strategiaa '*petä* aina'.

Sama asetelma kuitenkin mahdollistaa myös tahallisten väärin signaalien lähettämisen vastustajan hämäämiseksi. Hämäämisen mahdollisuudesta johtuen evolutiivisessa VD:ssa, jossa voi lähettää kustannuksista vapaita signaaleja ennen jokaista peliä, ei myöskään muodostu *yhteistyön tasapainoa*, koska mutanttistrategiaa '*lähetä aina signaali, pelaa aina petä*' noudattava pelaaja pystyy hyväksikäyttämään signaalijärjestelmää noudattavia pelaajia. Skyrmsin (2002, 409—411; 2004, 66—67) keskeisin väite onkin, että signaalien lisääminen VD:an ei muuta pelin asetelmaa, mikäli kyseessä on klassisen peliteorian versio, mutta evolutiivisen pelin tapauksessa kustannuksettomillakin signaaleilla on olennainen merkitys pelin luonteen muuttumisen kannalta.

Skyrmsin (2002; 2004, 66—70, 80—81) väittää, että halvalla puheella on suuri merkitys evolutiivisissa peleissä ja ero on merkittävä klassiseen peliteoriaan verrattuna. Skyrms argumentoi pääasiassa Robert Aumannia vastaan, joka esitti vuoden 1990 artikkelissaan "*Nash Equilibria Are not Self-Enforcing*"<sup>12</sup>, että halpa puhe ei olisi vaikuttava tekijä Aumannin omassa HMP:ssä ja että halpa puhe ei kehittäisi populaation joukossa signaaleja, joista voisi muodostua uusi tasapaino eli signaalijärjestelmä. Aumannin HMP:n arvot ovat kuvattu taulukossa 4.3. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivin pelaajan strategia pelataan pystyrivin pelaajan strategiaa vastaan, tuottaen solussa ilmoitetun lopputuloksen. Sarakkeen vasemmalla puolella oleva numero kuvaa vaakarivin pelaajan lopputulosta, sarakkeen oikealle puolella oleva numero puolestaan kuvaa pystyrivin pelaajan lopputulosta.

	Peura	Jänis
Peura	9 / 9	0 / 8
Jänis	8 / 0	7 / 7

**Taulukko 3.3** Aumannin HMP:n arvot (Skyrms 2002, 410).

Skyrmsin (2004, 68—70) mukaan Aumannin väite pätee kylläkin HMP:ssä, joka on luonteeltaan varmuuspeli. HMP tyypillisesti luokitellaan varmuuspeliksi ja Skyrms huomauttaakin, että hänen

<sup>12</sup> Skyrmsin käyttämä lähde: Aumann, R. J. (1990) "Nash Equilibria Are Not Self-Enforcing." teoksessa "Economic Decision Making, Games, Econometrics and Optimization". Ed. J. J. Gabzewicz, J.-F. Richard ja L. A. Wolsey. North Holland: Amsterdam, 201–206. Alkuperäinen lähde ei ollut saatavillani, joten luotan tässäkin kohdassa Skyrmsin omaan sanaan.

väitteensä, että kustannuksettomat signaalit horjuttavat Aumannin HMP:n tasapainoa siten, että signaloivat pelaajat muodostavat peliin täysin uuden tasapainon, jossa populaatio on jakautunut kahtia. Populaatiosta puolet noudattavat strategiaa "*lähetä signaali 1, jos saat signaalin 2 metsästä hirveä, mutta jos saat signaalin 1 metsästä jänistä*" ja puolet vastaavasti "*lähetä signaali 2, jos saat signaalin 1 metsästä hirveä, mutta jos saat signaalin 2 metsästä jänistä*" (Skyrms 2004, 69). Skyrmsin mukaan replikaattoridynamiikka ajaa populaation evolutiivisesti stabiiliin tasapainoon, joka pystyy säilymään satunnaisista mutaatioista huolimatta. Erikoista on erityisesti se, että Skyrmsin luomassa koeasetelmassa strategiat *metsästä aina hirveä* ja *metsästä aina jänistä* voisivat muodostaa vain neutraalisti stabiileja tasapainoja, mutta eivät evolutiivisesti stabiileja tasapainoja.

Skyrms (2002, 2004) väittääkin, että signaaleja ja halpaa puhetta on oleellista tarkastella evolutiivisen peliteorian kontekstissa, koska tulokset eroavat huomattavasti klassisen peliteorian tuloksista. Skyrms tiedostaa myös sen, että asetelma vaatisi enemmän empiiristä tutkimusta ennen kuin siitä voidaan vetää sen suurempia johtopäätöksiä.

Evolutiivisen peliteorian kontekstissa signaaleja ja signalointia on ruvettu tutkimaan laajemmin. Esimerkiksi kokeellisen psykologian tutkimusalalla Alixandra Barasch, Jonathan Berman, Emma Levine, David Rand ja Deborah Small teettivät tutkimuksen "*Signaling Emotion and Reason in Cooperation*" (2018). Tutkimuksessa koehenkilöt pelasivat VD:a ja ennen kuin pelaajien valinnat paljastettiin, toinen pelaajista kertoi vastapelaajalle, että tekikö hän pelissä päätöksensä emootio- vai järkipohjaisesti. Tutkimuksesta kävi ilmi, että emootiopohjaiset signaalit viestivät yhteistyöhalukkuutta paremmin kuin järkipohjaiset signaalit ja lisäksi koehenkilöt, jotka tekivät päätöksiä enemmän emootioiden varassa, olivat herkempiä reagoimaan emootiosignaaleihin vastaamalla niihin tekemällä pelissä yhteistyötä. Tämä on kuitenkin hyvin yksinkertaistettu esitys tutkimuksesta ja sen tutkimusasetelmasta.

### **3.4 Assosiaatiot, vuorovaikutuksen kehitys ja Skyrmsin johtopäätökset**

Skyrms (2004, 87—122) tarkastelee mikä merkitys on evolutiivisissa peleissä sillä, jos pelissä kontrolloidaan kenet pelaaja kohtaa pelissä. Skyrms ja Robin Pemantle (2000) tutkivat miten sosiaaliset verkostot rakentuvat ja kehittivät tulostensa pohjalta dynaamisen mallin. Pemantle ja Skyrms (2000) tutkivat miten vuorovaikutusverkostot kehittyivät pelissä, jossa pelaajien vuorovaikutustilanteet eivät olleet täysin satunnaisia, mikä oli tuohon aikaan evolutiivisen peliteorian tutkimuksessa poikkeavaa.

Pemantlen & Skyrmsin (2000) kehittämässä pelissä luotiin asetelma, jossa 10 pelaajaa päivän aikana vierailivat vuorovaikutustilanteissa toisiensa luona, ollen joko roolissa **vierailija** tai **isäntä**<sup>13</sup>. Roolit ovat oikeastaan hyvin itseselitteiset. Pelin alkutilanteessa pelaajien valinnat olivat satunnaisia, mutta kehittyivät pelin mittaan vuorovaikutuksesta saatujen arvojen perusteella. Kahden pelaajan välisestä vuorovaikutuksesta luotiin neljä eri mallia. Mallien erona oli se, että positiivinen vuorovaikutus toisen pelaajan kanssa joko tuotti pelkästään **vierailijalle** arvon +1, tai sitten sekä **vierailijalle** ja **isännälle** arvon +1, tai vaihtoehtoisesti negatiivisen arvon -1, jos vuorovaikutus oli negatiivista. Pelaajan todennäköisyys vierailia jonkun tietyn pelaajan luona seuraavana päivänä muuttui pölyan uurnan periaatteen<sup>14</sup> mukaisesti.

Tutkimuksesta selvisi, että pelit joissa vuorovaikutus oli positiivista, seurasi se, että pelaajat todennäköisemmin vierailivat niiden pelaajien luona, joiden luona olivat useammin vierailleet pelissä aiemmin (Skyrms 2004, 87—90). Sen sijaan peleissä, joissa vuorovaikutus oli negatiivista, pelaajat päätyivät valitsemaan kenen luona vierailevat huomattavasti sattumanvaraisemmin (Skyrms 2004, 91). Pelaajien positiiviset ja negatiiviset assosiaatiot siis huomattavasti ohjasivat partnerin valintaa.

Pemantlen ja Skyrmsin (2000) tutkimuksen merkitys HMP:lle on hyvin selkeä. Skyrms (2004, 95—100) esittää, että jos pelaajien välisestä vuorovaikutuksen annetaan vaikuttaa pelaajien partnerin valintaan, hirvenmetsästäjät hyvin nopeasti pariutuvat ainoastaan toisten hirvenmetsästäjien kanssa, koska positiivisella vahvistuksella on niin suuri vaikutus. Vastaavasti jäniksenmetsästäjät pariutuvat pelissä pian vain keskenään. Sinällään tämä tulos ei ole yhtään yllättävä, koska se vaikuttaisi muistuttavan aitoa todellisuuden dynamiikkaa, joka säätelee kenen kanssa ystäväystystymme. Skyrms (2004, 93—94) ehdottaakin, että peliin tulisi lisätä sääntö, jonka mukaan viime aikaisilla vierailuilla olisi suurempi merkitys kuin kauan sitten tapahtuneilla, jotta peli muistuttaisi paremmin todellisen maailman vuorovaikutusta. VD:an sovellettaessa samaa vuorovaikutusmallia, on Skyrmsin (2004, 100—110) mukaan olennaista, että onko strategioiden valinnan dynamiikkaa määrittävä sääntö *imitoi parasta vierailua vai imitoi parhaiten pärjännyttä pelaajaa*. Ensimmäinen sääntö muutti populaation vapaamatkustajiksi, kun taas jälkimmäinen yhteistyötä tekeviksi.

Skyrms (2004, 123) toteaaikin lopuksi, että tutkimuksia tulee vielä jatkaa, mutta muutama asia on selvinnyt. HMP:ssä pettämisen tasapainosta siirtyminen yhteistyön tasapainoon voi tapahtua ajan

---

13 Suomenkielistä sukupuolineutraalia käännöstä sanalle "host", joka vastaisi pelin roolia kirjoittaja ei valitettavasti keksinyt.

14 Kuvitellaan urna, jossa on eri värisiä palloja. Henkilö nostaa urnasta sattumanvaraisesti pallon ja laittaa sen sitten takaisin urnaan, lisäten samalla yhden saman värisen pallon urnaan kuin minkä hän juuri nosti. Mitä pidempään tätä jatketaan, todennäköisyys sille, että tietyn värinen pallo nostetaan urnasta joko nousee tai laskee.

mittaan sattumanvaraisesti, mutta esimerkiksi signaalit ja positiivinen vuorovaikutus nopeuttivat positiivisen yhteistyön tasapainoon pääsemistä. Myös ympäristöllä on merkitystä, koska jos vuorovaikutus HMP:ssä rajoittuu vain välittömään lähiympäristöön, on huomattavasti epätodennäköisempää, että yhteistyö leviäisi vapaamatkustajien populaatioon. Sen sijaan jos imitointidynamiikkaa voitiin ulottaa laajemmalle kuin välittömän vuorovaikutuksen piirissä oleviin pelaajiin, oli huomattavasti todennäköisempää, että vapaamatkustaminen eliminoiduu pitkällä tähtäimellä. Myös epäedullisessa ympäristössä hirvenmetsästäjät pystyivät säilyttämään etunsa, kun signaalit mahdollistivat hirvenmetsästäjien välisen vuorovaikutuksen.



## **4.0 Sosiaalisten dilemموjen peliteoreettinen problematisointi**

Esittelen tässä luvussa dilemموja, jotka liittyvät yhteistyöhön. Käsittelemäni dilemmat ovat omaan arviooni perustuen sosiaalisen arkielämämme kannalta merkittäviä ja yleisluontoisia, minkä vuoksi ne saattavat toistua tulevaisuudessa. Tutkimukseni kannalta merkittävä sosiaalisten dilemموjen yhteydessä esiinnouseva ongelma, johon perehdyn tarkemmin on vapaamatkustajan ongelma. Tutkimuksessani kartoitan perustan sille, miten esimerkiksi vapaamatkustajan ongelma tai jokin muu sosiaalinen dilemma voidaan muuntaa peliteoreettiselle tasolle. Peliteorian hyödyntämisen tarkoitus onkin paljastaa miksi joihinkin sosiaalisiin tilanteisiin tai tapahtumiin ylipäättänsä sisältyy dilemma tai miksi jotkin sosiaaliset asetelmat ovat ongelmallisia yhteiskunnallisen kehittymisen kannalta. Tämän luvun tarkoitus on siis luonnehtia mitä ovat sosiaaliset dilemmat, miten ainakin osa niistä voidaan muuntaa peliteorian kielelle ja miksi peliteoriaa tulisi ylipäättänsä soveltaa dilemموjen ratkaisemiseksi.

### **4.1 Sosiaaliset dilemmat ja vapaamatkustajan ongelma**

Dilemmat ovat ongelmia, joille on olemassa vähintään kaksi eri ratkaisua ja vaikka ratkaisu tarjottaisiin, se ei olisi yksiselitteisesti oikea. Termi sosiaalinen puolestaan rajaa jo pois osan potentiaalisista dilemموista ja rajaan termin käytön tämän tutkimuksen yhteydessä viittaamaan vähintään kahden ihmisen sosiaaliseen kanssakäymiseen liittyviin dilemموihin. Tässä tutkimuksessa käsitelen kuitenkin sosiaalisten dilemموjen tapauksissa vain suuria joukkoja koskevia dilemموja. Monet suuria joukkoja koskevat sosiaaliset dilemmat ovat luonteeltaan tilanteita, joissa yksilö hyötyy massojen kustannuksella tai itsekkäät yksilöt huonontavat kaikkien yhteistä etua. Peliteorialle ominaista on toimia analyysi- ja mallinnustyökaluna, joka antaa ennustuksia suurten joukkojen toiminnasta ottamatta kantaa toiminnan eettisyyteen, minkä vuoksi se on saavuttanut suosiota sosiaalisten dilemموjen tutkimisen työkaluna. Merkittävänä erona moraalisten dilemموjen tarkasteluun eettisestä näkökulmasta nähden on siis se, että tutkittaessa sosiaalisia dilemموja peliteorian avulla, on dilemموista riisuttu niiden normatiivinen sisältö pois ja dilemموja voidaan tarkastella ja vertailla keskenään. Tulee kuitenkin lisäksi huomauttaa, että sosiaalisia dilemموja on niin lukuisia erilaisia, joten tässä tutkimuksessa ei ole tarkoitus tai edes mahdollisuus käsitellä kaikkia. (Lange, Rockenbach & Yamagishi 2014, 1—13)

Sosiaaliset dilemmat, joiden käsittelyyn tässä tutkimuksessa uppoudun ovat pohjimmiltaan yhteistyöhön ja koordinaatio-ongelmiin liittyviä dilemموja. Lähestyn yhteistyöhön liittyviä

kysymyksiä, kuten miten yhteistyö on mahdollista tai miten yhteistyö kehittyy filosofiselta kannalta ja jätän yhteistyöhön liittyvät psykologiset seikat huomioimatta. Toiset sosiaalisia dilemmoja koskevat kysymykset liittyvät koordinaatio-ongelmiin, joita voidaan ratkaista sopimuksien avulla. Miten on ylipäättänsä mahdollista, että ihmiset solmisivat yhteiskuntasopimuksen ja miten yhteiskunnassa vallitseva tila voisi kehittyä eteenpäin sopimusten kautta. Lähestyn em. ongelmia filosofisesta ja peliteoreettisesta näkökulmasta.

Yhteistyöhön liittyvät sosiaaliset dilemmat ovat luonteeltaan keskenään hyvin samankaltaisia. Yhteistyön avulla voidaan saavuttaa tai helpottaa jonkin tavoitteen saavuttamista, mihin yksilö ei välttämättä yksin pysty, mutta ongelmaksi nousee sekä yksilön itsekkiät intressit ja työpanos suhteessa ryhmän työpanokseen ja intresseihin, että yhteistyöhön vaadittavan yhteistoiminnan organisointi. Esimerkki sosiaalisesta dilemmasta, jonka ytimessä on yhteistyön ongelma olisi esimerkiksi vanhenpainyhdistyksen myyjäiset koulun juhlassa luokkaretken rahoittamiseksi. Koululla ei ole instituutiona valtaa pakottaa vanhenpainyhdistyksen jäseniä järjestämään myyjäisiä tai mikäli myyjäiset järjestetään, koulu ei voi myöskään pakottaa ketään vanhempaa osallistumaan myyjäisten järjestämiseen tai sakottaa lasta, jonka vanhemmat eivät myyjäisten järjestämiseen osallistuneet. Kuitenkin myyjäisten järjestämisellä on selkeää yhteistä hyötyä luokkaretkelle haluavien lasten kannalta, joten yhteisen edun kannalta on tehtävä yksilöllisiä uhrauksia. Em. esimerkistä on löydettävissä useita sosiaalisia dilemmoja, yksi merkittävin niistä on myös monissa muissa eri yhteyksissä esiintyvä vapaamatkustajan ongelma, joka em. esimerkissä on vanhempi, joka ei osallistu myyjäisten järjestämiseen, mutta jonka lapsi pääsee siitä huolimatta luokkaretkelle, mikäli myyjäiset onnistuvat. Toisaalta mikäli myyjäiset epäonnistuvat, vanhempi ei tule menettäneeksi työpanostaan turhasta.

Vapaamatkustajan ongelma voi esiintyä sosiaalisissa ympäristöissä sekä mikro- että makrotasolla, oli kyseessä sitten ryhmätyö koulussa, vanhenpainyhdistyksen myyjäiset tai yhteiskunnallisen muutoksen edistäminen. Ongelma on kuitenkin yleisin makrotasolla, koska mitä suurempi ihmisten joukko osallistuu yhteistoimintaan, sitä suuremmat ovat mahdollisuudet ja houkutus jättää työt muiden tehtäväksi. David Hume (2009, 809) luonnehti aikoinaan vapaamatkustajan ongelmaa tunnetussa esimerkissään, jonka mukaan kahden henkilön on helpompi pitää kiinni yhteisestä sopimuksesta kuin tuhannen ihmisen.

Tiivistän vapaamatkustajan ongelman yhteiskunnallisen muutoksen kontekstissa seuraavasti: Mikäli yhteiskunnassa halutaan saada aikaan jokin muutos tai edistystä, kaikki muutoksesta hyötyvät eivät kuitenkaan osallistu kyseisen muutoksen edistämiseen ja toteuttamiseen. Asetelmasta sosiaalisen

dilemman tekee se, että itsekkäät yksilöt saattavat joskus tietoisesti hyväksikäyttää muita. Kaikki yhteiskunnalliseksi muutokseksi kategorisoitavissa olevat ilmiöt eivät kuitenkaan sisällä vapaamatkustajan ongelmaa. Yksi esimerkki yhteiskunnallisesta ilmiöstä, jossa esimerkiksi kuitenkin ilmenee selkeitä ongelmia on suhtautuminen rokotteisiin. Evolutiivista peliteoriaa onkin esimerkiksi hyödynnetty tarkasteltaessa rokotteisiin suhtautumista ja sen kehittymistä sosiaalisena ilmiönä<sup>15</sup>. En tässä tutkimuksessa kuitenkaan syvenny kyseiseen ilmiöön, mutta se toimii hyvänä ajankohtaisena esimerkkinä evolutiivisen peliteorian soveltamisesta yhteiskunnalliseen ilmiöön.

## 4.2 Yhteisen ja yksilön edun välinen ongelma

Yhteiskuntatieteissä monesti tarkastellaan on yksilön ja yhteisön välisten etujen suhteita. Ongelma tyypillisesti ilmenee kun yksilön ja yhteisön edut ovat ristiriidassa keskenään. Esimerkiksi yksilön vapautta rajoittamalla voidaan mahdollisesti taata yhteisölle parempi turvallisuus. Ilmiöstä kaksi käytännön tapausta ovat esimerkiksi yhteiset liikennesäännöt, joiden tarpeellisuudesta ei edes kiistellä (mutta joiden sisällöstä saatetaan kiistellä, esim. nopeusrajoitukset) ja aselait, jotka ovat erityisesti Yhdysvalloissa kuuma puheenaihe politiikassa.

Tyypillisesti kun kyse on suuria massoja hyödyttävistä asioista, kuten kansallinen turvallisuus tai kansallinen toimeentulo, näiden uskotaan olevan saavutettavissa vain kollektiivisen toiminnan kautta. Kollektiivista toimintaa määrittää se, että sen lopputulokset eivät ole yksin toimivien yksilöiden saavutettavissa, vaan edellyttävät liittymistä ryhmiin, jotka yhdessä pyrkivät saavuttamaan kollektiivisesti määritellyn tavoitteen. Esimerkiksi yksikään yksilö ei voi yksin estää ilmastonmuutosta tai saada aikaan uutta valtiojärjestystä toteuttamalla vallankaappauksen. Molemmat tavoitteet edellyttävät kollektiivista toimintaa, jossa joukko yksilöitä muuntautuu ryhmäksi, useasti kuitenkin eri syistä, esimerkiksi osaa kiinnostaa pelkästään tavoite, kun taas toisia ryhmien tarjoamat muut edut. Ryhmien olemuksesta ja niiden tavoitteiden luonteesta ei kuitenkaan ole filosofista tai tieteellistä yksimielisyyttä. (Risjord 2014, 180—187)

Hyvänä esimerkkinä kollektiivisesta toiminnasta ovat ammattiliitot, joiden toimintaa ja perusteita Mancur Olson käsittelee kirjassaan *The logic of collective action : public goods and the theory of groups* (1971). Mikäli jonkin ammattiryhmän ihmiset haluavat paremmat työolosuhteet, tyypillisesti asian ottaa hoitaakseen kyseisen alan ammattiliitto. Ammattiliittoon kuulumisen edellyttää aina kuitenkin jäsenmaksua ja liiton sopimusehtoihin sitoutumista, mutta kaikki ammattiryhmään

---

15 Ks. esim. Fu, Rosenbloom, Wang & Nowak (2011): *Imitation dynamics of vaccination behavior on social networks*, Proceedings of the Royal Society B 278, 42—49.

kuuluvat eivät kuulu ammattiliittoon jo mainitusta tai jostakin vaihtoehtoisesta syystä. Jäsenyydestä riippumatta, mikäli ammattiliitto onnistuu parantamaan työolosuhteita koko ammattiryhmälle, siitä hyötyvät myös ne ammattiryhmään kuuluvat, jotka eivät olleet osallisena liiton toiminnassa millään tavalla. Näin ollen voidaan väittää, että liittoon kuulumattomat olivat tapahtuneen muutoksen suhteen vapaamatkustajia, koska heidän ei tarvinnut osallistua muutoksen edesajamiseen joko omalla työpanoksellaan tai rahallisesti, mutta he saavat nauttia kuitenkin muutoksen tuomista eduista. Erityisen kiinnostava filosofinen kysymys onkin, että mikä saa ihmiset ylipäättänsä osallistumaan kollektiiviseen toimintaan, koska vaikka osallistuminen ammattiliiton toimintaan em. esimerkissä olisi kaikkien ammattiryhmään kuuluvien yhteisen edun mukaista, mutta yksilö voi kuitenkin nauttia ammattiliiton saavuttamista uudistuksista osallistumatta itse muutoksen edesauttamiseen työpanoksellaan tai rahallisesti.

Erikoista ammattiliittojen suhteen onkin Olsonin (1971, 66—76) mukaan se, että historiassa ensimmäiset alat, joihin ammattiliittoja alkoi muodostua olivat pienemmän tuotannon laitoksia, kuten painotuotannossa ja kengänteossa. Pienet paikalliset ammattiliitot eivät ole yhtä tehokkaita kuin suuret ammattiliitot, joiden suurin ase on suurlakot. Pienet paikalliset ammattiliitot kuitenkin pystyivät tarjoamaan jäsenilleen muita ei-rahallisia sosiaalisella tasolla merkittäviä etuja, mikä puolestaan mahdollisti jäsenten kertymisen. Selektiiviset kannustimet olivat ja ovat edelleen yksi ammattiliittojen keino hankkia itselleen jäseniä.

Olsonin mukaan yksi syy sille miksi pienemmät ja paikalliset ammattiliitot muodostuttuaan vähitellen laajenivat kattamaan koko teollisuuden tai toimimaan valtakunnallisesti olivat niiden sosiaalinen vetovoimaisuus ja lakkoihin jopa pakonomainen osallistuminen. Väitteen Olson (1971, 67—68) perustelee siten, että mikäli koko teollisuudenala ei ollut organisoitunut, oli työnantajilla hyödynnettävissä keinoja murtaa lakot ja näin ollen tehdä ammattiliittojen suurin ase vaarattomaksi. Tästä seurasi vääjäämättä se, että ammattiliitoilla oli suuri intressi laajentua kattamaan koko teollisuudenala ja toimia valtakunnallisella tasolla. Tämä voitaisiin peliteoreettisesti selittää siten, että selektiiviset kannustimet ovat ohjailleet populaation kehitystä siten, että hyviä kannustimia tarjoavat ammattiliitot onnistuvat vaikuttamaan satunnaisiin yksilöihin, jotka puolestaan vaikuttavat heidän välittömässä lähipiirissä oleviin samassa asemassa oleviin yksilöihin, jotka puolestaan vaikuttavat jälleen omassa lähipiirissään ja niin edelleen. Kannustimien vaikutusta voitaisiin tutkia antamalla niille jokin arvo  $V$  ja ammattiliittomaksuille puolestaan negatiivinen arvo  $-C$ . Näin voitaisiin tutkia myös esimerkiksi nykypäivän ammattiliittojen kannustimien houkuttavuutta.

Olsonin (1971, 76) mukaan ammattiliittojen perusta on toimia suuren joukon etujen vuoksi, eikä

niinkään yksilön. Ammattiliitot perustuvat hänen mukaansa kollektiiviselle neuvottelulle, eivät yksilölliselle neuvottelulle. Tästä johtuen Olson myös nostaa esille yksilön motiiveja koskevan ongelman liittyä ammattiliittoon. Rationaalinen yksilö ei Olsonin mukaan koe omaa työpanostansa liiton eteen merkittävä perusteena liittyä ammattiliittoon, mutta kuitenkin voi nauttia liiton aikaansaamista parannuksista. Näin ollen, mikäli liitto ei tarjoa muita jäsenilleen eksklusiivisia etuja ei rationaalisesti toimivalla yksilöllä ole hyviä perusteita liittyä ammattiliittoon. Sikäli kun näin on, olisivat ammattiliittojen suhteen vapaamatkustajat paljon paremmassa asemassa kuin liittoon kuuluvat, koska he voivat työskennellä riippumatta lakoista ja he eivät joudu maksamaan osaa palkastaan liitolle. Olson nostaakin esille vapaamatkustamisen yhtenä ammattiliittojen suurena huolenaiheena ja esittää myös historiassa ilmenneen paradoksin koskien ammattiliittojen toimintaa ja suhdetta vapaamatkustamiseen. Olsonin (1971, 86) mukaan: "Yli 90 prosenttia ei osallistu ammattiliiton kokouksiin tai toimintaan, mutta siitä huolimatta yli 90 prosenttia äänestää pakollisen liittoon kuulumisen puolesta ja suorittaa liitolle huomattavia maksuja."<sup>16</sup>

Toinen esimerkki kollektiivisen toiminnan ilmiöstä, jossa esiintyy vapaamatkustajia on kun haluttu muutos on luonteeltaan niin radikaali, että se edellyttää suuremman luokan organisoitumista kuten kapinaa. Jack Goldstonen toimittamassa kapinoita käsittelevässä kokoelmateoksessa *Revolutions : theoretical, comparative, and historical studies* (1986) perehdytään useisiin, valtioita merkittävästi muuttaneisiin kapinoihin. Goldstone (1986, 16—17) huomauttaa, että kapinoista ei tiedetä vielä riittävästi, joten niitä ei voida tieteellisesti täysin selittää. Goldstone kuitenkin esittää kiinnostavan yhteisen piirteen, joka koskee ihmisten osallistumista kapinoihin myöhemmässä artikkelissaan *Is Revolution Individually Rational?: Groups and Individuals in Revolutionary Collective Action* (1994). Artikkelissaan Goldstone tutkii tarkasti miten vapaamatkustajan ongelma esiintyy ja on ratkaistu kapinoiden tapauksessa.

Lähtöasetelma, jonka Goldstone (1994) haastaa artikkelissaan on peräisin Gordon Tullockin artikkelista *The Paradox of Revolution* (1971). Tullockin (1971) mukaan analysoimalla kollektiivista toimintaa rationaalisen valinnan teorian avulla päädyimme lopputulokseen, että kapinoita ei synny ilman selektiivisiä kannustimia. Tämä perustuu siihen, että rationaalisen yksilön intresseissä ei ole osallistua häntä lopuksi hyödyttävään kollektiiviseen toimintaan, mikäli on edes vähänkään mahdollista, että yksilön työpanos on ajanhukkaa tai osallistumisesta voi seurata rangaistus, sikäli kun kollektiivisen toiminnan lopputulos on mahdollista saavuttaa ilman yksilön

---

16 Kattavempaa peliteoreettista analyysia varten Olsonin teoriasta ja kollektiivisen toiminnan dilemmoista voi lukea esimerkiksi Douglas D. Heckathornin artikkelista *The Dynamics and Dilemmas of Collective Action*, julkaistu alunperin jounaalisissa *American Sociological Review*, Vol 61 (1996), No. 2, 250—277.

osallistumista. Olson (1971) jakaa myös tämän ajatuksen. Tullock ajattelee siis, että yksilön kannalta ei ole rationaalista osallistua kapinaan, mikäli kapinan lopputuloksesta voidaan hyötyä kapinaan itse osallistumatta. Kannustimet, joihin Tullock (1971) viittaa ovat esimerkiksi taattu parempi asema yhteiskunnassa kapinan jälkeen.

Goldstone (1994, 139—140) haastaakin rationaalisen valinnan teorian analyysit, koska empiiriset todisteet puhuvat teoriaa vastaan. Goldstone käyttää yhtenä esimerkkinä vuoden 1989 protesteja Itä-Euroopassa. Tuolloin ihmisillä ei ollut riittäviä selektiivisiä kannustimia osallistua protesteihin ja lisäksi yksilön kannalta oli todella riskialtista osallistua protesteihin. Goldstone listaa kolme premissiä, joille kapinoiden tarkastelu yksilön näkökulmasta on mm. Tullockin (1971) analyysissa perustunut: 1. Vallitseva tila on vakaa. 2. Kapinallinen toiminta käy kalliiksi vaikka olisikin onnistunut ja on vakavasti rangaistavissa mikäli toiminta epäonnistuu. 3. Kenen tahansa yksilön toiminnan vaikutus onnistumisen todennäköisyydelle on merkityksetön<sup>17</sup>. Näiden premissien vallitessa on yksilön kannalta dominoiva strategia olla osallistumatta kapinalliseen kollektiiviseen toimintaan. Goldstone hyväksyy premissien ajatuksen, mutta toteaa, että premissejä ei voida soveltaa suuriin ryhmiin, jotka ovat Goldstonen mukaan olennaisimpia toimijoita kapinoiden suhteen. Goldstone esittääkin, että voidaksemme ymmärtää miten kapinat saavat alkunsa, tulee meidän kysyä seuraavat kysymykset: "1. Miksi yksilöt sitoutuvat tiettyihin ryhmiin? 2. Millaisten olosuhteiden vallitessa sellaiset ryhmät valitsevat osallistumisen kapinalliseen toimintaan? 3. Miten tietyt olosuhteet, jotka johtivat kapinalliseen toimintaan saivat alkunsa kyseessä olevassa yhteiskunnassa?". Ensimmäinen kysymys on vapaamatkustajan ongelman kannalta erityisen relevantti, mutta myöskin toinen kysymys on ongelman kannalta olennainen, kun taas kolmas on tapauskohtainen, joten en sitä käsittele.

Goldstonen (1994, 141—142) mukaan lähtökohtaisesti tulisikin tarkastella miksi organisoituneet ryhmät ovat yksilöiden sijaan ne tahot, jotka ottavat osaa kollektiiviseen toimintaan, kuten kapinointiin. Goldstonen perustelut pohjautuvat historialliseen tutkimukseen kapinoiden luonteesta ja toteaa, että tyypillisesti kapinoihin ja protesteihin osallistuneet yksilöt toimivat suurempien ryhmien organisoimina. Näin ollen, olisi loogista tarkastella miksi yksilöt sitoutuvat kulloinkin ko. ryhmiin. Tämä toisaalta muuttaa Goldstone mukaan vapaamatkustajan ongelmaa hieman, mutta ei eliminoi sitä. Goldstone (1994, 142) esittää, että vapaamatkustajan ongelma muuttuu siten, että kysymys ei koske enää sitä miksi ihmiset eivät valitse hyödyntää vapaamatkustajan asemaa, kun

---

<sup>17</sup> Tullock tarkoittaa tällä, että yksilöiden välillä toiminnallinen kompetenssi on vakio eli kuka tahansa satunnaisesti valittu yksilö ei ole kyvykkäämpi vaikuttamaan kapinan onnistumiseen kuin toinen satunnaisesti valittu yksilö. Tullock ei siis tarkoita etteikö yksilöiden määrän noustessa tai laskiessa kapinan onnistumisen todennäköisyys muuttuisi.

kyseessä ovat lukemattomat ja heille tuntemattomat ihmiset, vaan kysymys koskee sitä miksi ihmiset eivät valitse hyötyä vapaamatkustajan asemasta kun kyseessä on heille entuudestaan tuttu ryhmä. Goldstone (1994, 142) esittääkin, että aiheeseen perehtynyt tutkimus väittäisi, että sikäli kun kaikki muut tekijät ovat samat tapauksien välillä, yksilöt ovat taipuvaisia toimimaan ennemmin ryhmissä kuin yksilöinä. Goldstonen (1994, 142) viittaamista tutkimuksista ilmeni kaksi yksilöiden toimintaa ohjaavaa käyttäytymismallia. Ensinnäkin yksilöt ovat valmiita olemaan ottamatta osaa kollektiiviseen toimintaan, mikäli uskomus toiminnan epäonnistumisesta on suuri. Toiseksi yksilöt kuitenkin olivat halukkaampia olemaan osana kollektiivista toimintaa, mikäli uskoivat toiminnan onnistuvan.

Goldstone (1994, 143—148) tekee johtopäätöksen, että tyypillinen tilanne, jossa vapaamatkustamisen houkutus on suurin yksilölle muistuttaa klassista vangin dilemma peliä. Vangin dilemmassa yhteistyöllä ei voida saavuttaa yksilön kannalta suurinta hyötyä ja koska asetelmassa ainoa Nashin tasapaino on pettää, ei se myöskään rohkaise tekemään yhteistyötä. Goldstone ehdottaakin, että vangin dilemmasta on päästävä lopputuloksien suhteen asetelmaan, joka muistuttaa pikemminkin varmuuspeliä. Aiemmin tutkimuksessa esitelty HMP on luonteeltaan peli, johon viitataan myös varmuuspelinä pelin rakenteesta johtuen.

Varmuuspelille ominaista on, että vaikka yksilö valitsisi toimia itsekkäästi ja olla osallistumatta yhteistyöhön, kaikkien muiden tehdessä yhteistyötä, yksilö ei voi saavuttaa itsensä kannalta parasta lopputulosta. Pelin ajatus on tarkemmin siis, että tehdään yhteistoiminnasta ja yhteistyöstä pareto-optimaalisin vaihtoehto. Goldstonen (1994, 144) ajatus pelin narratiivin suhteen on, että yksilön<sup>18</sup> valitessa toiminnan 'ei osallistu' kun kaikki muut valitsevat toiminnakseen 'osallistua', yksilö kokee tiettyjä haittoja siitä, että ei osallistunut toimintaan, esimerkiksi yksilö voi potea moraalista katumusta tai saada osakseen ryhmän toimesta halveksuntaa sosiaalisten normien rikkomisesta. Yksilö kuitenkin hyötyy jättäessään osallistumatta kun kaikki muut tekevät myös niin, ja vastaavasti kärsii haittaa toimiessaan yksin, koska hänen työpanoksensa on turha, mikäli **kaikki muut** eivät osallistu yhteistoimintaan. Goldstonen varmuuspelin arvot **yksilölle** ovat kuvattuna taulukossa 4.1.

		KAIKKI MUUT	
		Osallistuu	Ei osallistu
YKSILÖ	Osallistuu	2	-1
	Ei osallistu	1.5	1

**Taulukko 4.1.** Goldstonen varmuuspelin arvot yksilölle. (Goldstone 1994, 144<sup>19</sup>.)

18 Goldstone (1994) käyttää artikkelissaan yksilön sijaan termiä EGO, mutta olen muuttanut termin selkeämmän yleiskuvan luomisen vuoksi.

19 Goldstonen (1994, 144) rakentamassa pelin narratiivissa hän ilmaisee, että vallitsevan tilan säilymisestä seuraa arvo 1, eli kun kukaan ei osallistu yhteistoimintaan, tulisi kaikkien saada arvoksi 1. Goldstone kuitenkin esittää, että **yksilölle** koituisi yhteistoimintaan osallistumisesta johtuvasta työpanoksesta haittaa, jonka hän ilmaisee arvolla -1.

Goldstonen (1994, 144) pelissä huomioidaan vain **yksilön** roolissa olevan lopputulokset. Taulukkoa ei voida siksi suoraan kääntää koskemaan ryhmiä Goldstonen (1994) narratiivissa, vaan Goldstonen peliteoreettinen tarkastelu edellyttää, että annamme ryhmille (jotka pelissä ovat roolissa **kaikki muut**) omat arvonsa. Voidakseni tarkastella paremmin pelin evolutiivisen version tuloksia, esitän nyt itse taulukossa 4.2 Goldstonen kehittämän pelin innoittamana omat arvoni, joissa huomioidaan **yksilön** ja **kaikkien muiden** lopputulokset. Taulukkoa tulee lukea siten, että vaakarivin pelaajan strategia pelataan pystyivin pelaajan strategiaa vastaan, tuottaen solussa ilmoitetun lopputuloksen. Sarakkeen vasemmalla puolella oleva numero kuvaa vaakarivin pelaajan lopputulosta, sarakkeen oikealle puolella oleva numero puolestaan kuvaa pystyivin pelaajan lopputulosta.

		Kaikki muut	
		Osallistuu	Ei osallistu
Yksilö	Osallistuu	2 / 2	-1 / 1
	Ei osallistu	1.5 / 2	1 / 1

Taulukko 4.2 Goldstonen peli Vanhasen arvoilla.

Olennessa taulukosta voi huomata, että tilanteessa, jossa **yksilö** pelaa 'osallistu' ja **kaikki muut** pelaa 'ei osallistu' saavat pelaajat selkeästi eri tulokset. Myös on mielekästä kysyä, miksi olen antanut arvon 1 **kaikille muille** kyseisessä tilanteessa. Perustelen valinnan siten, että Goldstonen (1994) skenaariossa kaikkien muiden lopputulos ei ole riippuvainen siitä mitä yksittäinen yksilö aikoo tehdä, tämä ilmenee **kaikki muut** roolin molemmissa sarakkeissa, koska yhteistoimintaan osallistuminen tuottaa välttämättä muutoksen eli arvo 2, kun taas **kaikkien muiden** osallistumatta jättäminen johtaa välttämättä kollektiivisen toiminnan tavoitteen epäonnistumiseen eli vallitseva tila säilyy, tuottaen arvon 1, joka on myös ilmaistu Goldstonen omassa narratiivissa. Olennessa on, että **kaikkien muiden** toiminnasta tulee seurata yksilön toiminnasta riippumaton lopputulos. Näin ollen olisi täysin perusteltua käyttää myös esimerkiksi arvoja 0 tai -1 **kaikkien muiden** toiminnan 'ei osallistu' lopputuloksena, mutta myös **yksilön** tulisi tuolloin saada tuo sama arvo tilanteessa, jossa sekä **yksilö**, että **kaikki muut** molemmat pelaavat toiminnon 'ei osallistu'. Lisään oman pelini narratiiviin sen, että **yksilölle** koituu arvo -1 tämän pelatessa 'osallistuu' kun **kaikki muut** pelaa 'ei osallistu', koska hänelle koituu sekä haittaa turhasta ponnistelusta yhteisen hyvän eteen ja lisäksi häntä erityisesti jää harmittamaan hukattu aika ja työpanos!

Lisäksi ominaista taulukon 4.2 pelille on, että se on asymmetrinen, sekä rooleilta, että

---

Näin ollen Goldstonen lopputulos taulukossa tulisi nähdäkseni tilanteessa, jossa **yksilö** pelaa 'osallistuu', kun **kaikki muut** pelaa 'ei osallistu' lopputuloksena olla arvo 0. Tämä epäloogisuus Goldstonen pelissä ei kuitenkaan haittaa tulevaa tarkasteluamme pelin suhteen, koska käytän peliä varten omia arvojani, jotka ovat Goldstonen artikkelin innoittamia.



lopputuloksilta. Pelissä esiintyvät kaksi eri roolia **yksilö** ja **kaikki muut** eivät myöskään ole tasapainoisessa suhteessa toisiinsa, mutta roolien ja pelin lopputulosten välillä kuitenkin on kiinnostava suhde. **Kaikki muut** roolissa olevien pelaajien strategiat nimittäin vaikuttavat suoraan siihen mitä **yksilön** roolissa olevan pelaajan kannattaa valita, kun taas sama suhde ei päde käänteisesti. Pelissä **kaikki muut** roolissa olevilla ei ole rationaalisia perusteita valita missään tilanteessa toimintoa 'ei osallistu', koska **kaikille muille** toiminto 'osallistu' tuottaa aina paremman lopputuloksen, riippumatta **yksilön** valitsemasta toiminnosta. Siksi Goldstonen varmuuspelin evolutiivisen peliteorian tarkastelun kannalta on hedelmällistä asettaa **yksilöt** ja **kaikki muut** erillisiksi populaatioiksi, koska populaatioiden strategioiden kehittymistä ohjaa erilainen dynamiikka.

Yksi kriittinen huomio, joka liittyy taulukossa 4.2 esittämiini arvoihin on tietysti se, että **kaikki muut** roolissa oleva irrationaalinenkin pelaaja ymmärtää saavansa aina paremman hyödyn valitsemalla strategiakseen 'aina osallistuu'. Yksi menetelmä miten **kaikki muut** roolin mahdollisia strategioita voisi tutkia mielekkäämmän olisi, mikäli peliin lisättäisiin inkompetenssin mahdollisuus eli strategian suorittaminen ei kuitenkaan välttämättä takaisi onnistunutta lopputulosta.<sup>20</sup> Goldstone (1994, 149—155) itse onkin tutkinut, milloin ryhmät ovat rationaalisesti valmiita kapinalliseen kollektiiviseen toimintaan senkin uhalla, että epäonnistunut kapina asettaa heidät huonompaan asemaan kuin missä ryhmät olivat ennen kapinointia. Goldstone ei kuitenkaan esitä tuloksiaan tämän osalta peliteoreettisessa viitekehyksessä, vaikka hyödyntääkin artikkelissaan klassista peliteoriaa.

Varmuuspelistä on myös löydettävissä Nashin tasapaino, joka eroaa merkittävästi VD:sta. Sen lisäksi, että varmuuspelissä *osallistu aina yhteistyöhön* on Nashin tasapainossa oleva strategia (se on myös pelissä pareto-optimaalinen strategia), pelissä oleva **yksilön** puhdas strategia 'ei osallistu' ei kuitenkaan ole aidosti dominoitu strategia. **Yksilön** roolissa olevalle pelaajalle puhdas strategia 'pelaa aina ei osallistu' on kaikista vetovoimaisin puhdas strategia, koska se tuottaa keskiarvoltaan paremman lopputuloksen kuin 'pelaa aina osallistu'. Tämän todistan taulukossa 4.3.

<b>Yksilön</b> toiminnan 'osallistu' keskiarvo $(2-1) / 2 = 0.5$
<b>Yksilön</b> toiminnan 'ei osallistu' keskiarvo $(1,5+1) / 2 = 1.25$

**Taulukko 4.3** Keskiarvot **yksilön** puhtaille strategioille taulukon 4.2 mukaisesti

<sup>20</sup> Inkompetenssi evolutiivissa peleissä on vielä uusi teoria evolutiivisen peliteorian tutkimusalalla ja sitä ei ole vielä tarkasteltu laajasti. Maria Kleshnina, Jerzy A. Filar, Vladimir Ejoy ja Jody C. McKerral ovat kuitenkin muotoilleet artikkelissaan "*Evolutionary games under incompetence*" (Journal of Mathematical Biology, 2018 vol. 77, issue 3, 627—646) teorian matemaattiset raamit ja miten inkompetenssi ja harjoittelu voisivat toimia osana evolutiivista peliteoriaa.

Näin ollen pelin suhteen on kiinnostavaa tutkia, miten ja missä vaiheessa **yksilö** vaihtaa puhtaasta strategiasta 'pelaa aina ei osallistu', pelissä mahdolliseen toiseen puhtaaseen strategiaan 'pelaa aina osallistu'. Tämä dynamiikka on täysin sama kuin Skyrmsin HMP:n tapauksessa, jota tarkastelin luvussa 3, mutta pelit eivät kuitenkaan ole keskenään identtiset. Olennainen ero on se, että varmuuspelissä tilanne, jossa molemmissa rooleissa olevat pelaavat toiminnon 'ei osallistu' ei muodosta Nashin tasapainoa, koska **kaikki muut** voivat halutessaan saavuttaa paremman tuloksen vaihtamalla strategiaansa, riippumatta siitä mikä on **yksilön** strategia.

### 4.3 Goldstonen varmuuspelin tarkastelua evolutiivisen peliteorian avulla

Käytin evolutiivisen pelin luomiseen ja tarkasteluun sovellusta "GameBug", jonka on kehittänyt Bob Wyttenbach<sup>21</sup>. Sovelluksella voi helposti luoda evolutiivisia pelejä ja tarkastella miten strategiat käyttäytyvät peleissä. Loin taulukon 4.2 arvoilla sovelluksessa pelin ja tutkin miten 100 henkilön populaation strategiat käyttäytyivät. Populaation olin jakanut siten, että 10 olivat roolissa **yksilö** ja 90 olivat roolissa **kaikki muut**. Evolutiivisen peliteorian kannalta kriittinen huomautukseni on, että yleensä populaatioita tarkastellaan vielä suuremmassa skaalassa. Toinen kriittinen huomautukseni on, että vaikka simulaation tulokset ovat vertailukelpoisia, pelin rakennetta voitaisiin muokata monipuolisemmaksi erilaisilla lisäyksillä, kuten lisäämällä peliin satunnaisia mutaatioita. Kolmas kriittinen huomautus on, että pelin asymmetrisyys tekee pelistä huomattavasti yksinkertaisemman ratkaista.

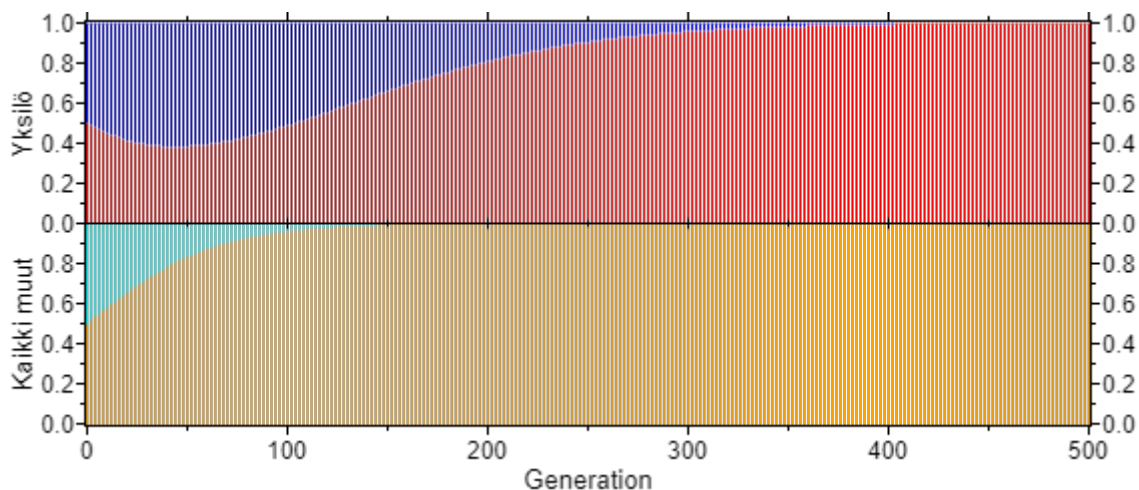
Huomasin Goldstonen varmuuspelin mallista myös toisen kiinnostavan seikan evolutiivisen peliteorian näkökulmasta tarkasteltuna, nimittäin yksilöllä ja yhteisöllä on keskeinen vuorovaikutussuhde, tarkemmin ottaen yhteisö vaikuttaa vahvasti siihen miten yksilöt toimivat pelissä. Vaikka pelin alkuasetelmassa aloituspopulaatio olisi asetettu niin, että kokonaispopulaatio on 100, joista 10 ovat roolissa **yksilö** ja 90 roolissa **kaikki muut**. **Yksilöistä** puolet valitsevat ensimmäiseksi toiminnokseen 'osallistua yhteistoimintaan', vastaavasti puolet valitsevat ensimmäiseksi toiminnokseen 'ei osallistu'. Samat lähtöarvot annetaan roolissa **kaikki muut** pelaaville eli 45 pelaa ensimmäisenä toimintonaan 'osallistuu yhteistoimintaan', 45 puolestaan pelaa ensimmäisenä toimintonaan 'ei osallistu'. Kun peli simuloidaan kalkyyllissa näillä lähtöasetelmilla ja Goldstonen arvoilla, saadaan lopputulokseksi kuvaaja 4.4.

Kuvaajaa tulee tulkita siten, että vasemmalla ja oikealla olevat luvut ilmaisevat strategioiden frekvenssejä (0—100 %). **Yksilön** roolissa olevien kuvaajassa sininen kuvaa strategian *ei osallistu*

---

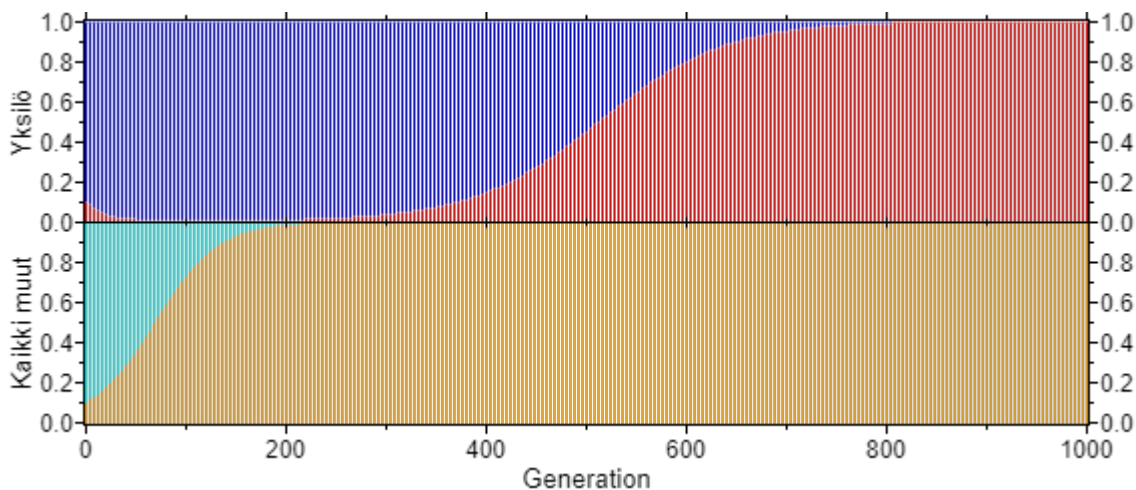
21 <http://nbb.emory.edu/people/nbb-faculty/wyttenbach-bob.html>

yksilöitä, punainen strategian *osallistuu* yksilöitä. **Kaikkien muiden** kuvaajassa vaaleansininen kuvaa strategian *ei osallistu* adoptoineita ryhmiä, oranssi strategian *osallistu* adoptoineita ryhmiä. Kuvaajien alla termi "Generation" viittaa sukupolviin eli tässä yhteydessä se kuvaa kuinka monta kierrosta peliä on pelattu.



Kuvaaja 4.4.

Kuvaajista käy ilmi, että **yksilöiden** strategian valintaan vaikuttaa se miten **kaikki muut** valitsevat. Lähtöasetelmassa, jossa strategioita oli yhtä paljon, lähtivät **yksilöt** aluksi suosimaan strategiaa *ei osallistu*, mutta jo 45. sukupolven eli kierroksen kohdalla **yksilöiden** strategianvalinta lähtee kääntymään, koska niin suuri osa (80.7 %) populaatiosta **kaikki muut** jo valitsee strategiakseen *osallistu*. Lopulta sekä **kaikki muut** ja kaikki **yksilöt** valitsevat osallistua yhteistoimintaan. Sama lopputulos saadaan, vaikka aloituspopulaation valintoja muokattaisiin siten, että vain 10 % molemmissa rooleissa olevista valitsisi aloitusstrategiakseen *osallistu*. Pelin kehitys ja tulokset kun vain 10 % molemmissa roolien aloituspopulaation pelaajista valitsee aloitusstrategiakseen *osallistu* ovat kuvattuna kuvaajassa 4.5.



Kuvaaja 4.5.

Kuvaajista 4.4 ja 4.5 voidaan tulkita, että viimeistään siinä vaiheessa kun **kaikki muut** osallistuvat yhteistoimintaan, ryhtyvät **yksilötkin** valitsemaan strategiakseen osallistua yhteistoimintaan. Tärkeää on myös huomata, että vaikka kaikki yksilöt jättävät osallistumatta yhteistoimintaan pelin alkuvaiheessa, tulee siitä pelin jatkuessa lopputulosdominoiva strategia kun **kaikkien muiden** oletettu strategian valinta on **yksilöiden** tiedossa. Mikä tulee myös huomioida on se, että sekä **yksilöt**, että **kaikki muut** olivat kuvaajan 4.5 asetelmassa huomattavasti hitaampia muuttamaan strategiaansa kuvaajaan 4.4 verrattuna.

Merkittävä linkki Goldstonen (1994, 144—148) ja Skyrmsin (2004, 15—44) tutkimusten välillä onkin se, että mikäli otetaan huomioon Goldstonen tosimaailmaa koskeva huomautus, että yksilöt toimivat yhteisössä ja toiseksi Skyrmsin esitys evolutiivisistä peleistä, joissa otetaan huomioon strategioiden vuorovaikutuksen mahdollisuus naapurustoissa, niin molemmissa tapauksissa tulokset osoittavat siihen suuntaan, että yksilön tulisi tai yksilö tulee adoptoimaan yhteistyöhön kannustavia strategioita pitkällä tähtäimellä, sen sijaan, että ryhtyisi suosimaan vapaamatkustamiselle perustuvia strategioita. Tältä osin Goldstonen ja Skyrmsin johtopäätökset yhteistyön kehittymisestä ja mahdollisuuksista kohtaavat.

Mikäli evolutiiviseen varmuuspeliin lisättäisiin strategioiden korrelaation mahdollisuus (kuten Skyrms 2004 analyysissä), eli yhteistoimintaan osallistuvat kohtaisivat toisia yhteistyöhön osallistuvia ja vastaavasti ei osallistuvat kohtaisivat ei osallistuvia roolista riippumatta, se johtaisi **yksilöiden** kohdalla 'ei osallistu' puhtaan strategian nopeaan eliminoitumiseen. Puhdasta strategiaa 'ei osallistu' pelaavat saisivat pelin mittaan huonomman tuloksen päätyessään pelaamaan useammin keskenään verrattuna mahdolliseen sekastrategiaan 'pelaa ensimmäiseksi osallistuu, sitten aina sama kuin viime kierroksen vastustaja', jota voidaan myös kutsua yleistermillä 'tit for tat' tai suomeksi 'silmä silmästä'. Voidaan siis päätellä, että taulukon 4.2 arvoilla rakennetussa evolutiivisessa pelissä **yksilön** puhdas strategia 'ei osallistu' on vahvasti dominoitu, kun taas **kaikkien muiden** puhdas strategia 'osallistuu' on vahvasti dominoiva. Tämä siis johtaa siihen, että kaikissa rooleissa olevat pelaajat päätyisivät lopulta adoptoimaan puhtaan strategian 'osallistua' yhteistoimintaan, koska se on Goldstonen käyttämällä arvoilla varmuuspelissä ainoa evolutiivisesti stabiili strategia.

Mainituista seikoista johtuen väitänkin, että Goldstonen varmuuspeli ei ole kovinkaan hyvä peliteoreettinen malli vapaamatkustamisen eliminoimisen tarkasteluun, koska Goldstonen käyttämällä arvoilla pelissä vapaamatkustamisesta ollaan tehty kaikissa pitkänajan skenaarioissa huono ja irrationaalinen vaihtoehto. Toisin kuin Skyrms (2004) HMP:ssä, Goldstonen pelissä on vain yksi evolutiivisesti stabiili strategia, kun taas Skyrmsin (2004) HMP:ssä on useampi

evolutiivisesti stabiili strategia. Goldstonen malli kuitenkin paljastaa evolutiiviseksi peliksi muutettuna sen, että mikäli sosiaalinen ympäristömme on muokattu sellaiseksi, jossa yhteistoimintaan osallistumisesta palkitaan aina, kun muutkin siihen osallistuvat ja osallistumatta jättämisestä rangaistaan muiden osallistuessa, ei ole rationaalista jättäytyä vapaamatkustajaksi. Pelistä käy myös ilmi, että yksilön ja ympäristön välinen vaikutussuhde on evolutiivisissa peleissä erittäin olennainen seikka.

Lisäksi väitän, että Goldstonen (1994, 146—147) väittämä "yksilöä ohjailevat yhteistoimintaan pyrkivän ryhmän normit ja sosiaalisesti opitut normit", on Goldstonen varmuuspelin kontekstissa jokseenkin irrelevantti tekijä, mikäli kyseessä on evolutiivinen peli. Tarkennan vielä, että Goldstonen (1994, 144) omilla ehdoilla (**yksilö** on taipuvainen osallistumaan yhteistoimintaan sosiaalisten normien vuoksi) hänen väitteensä kyllä pitää paikkansa klassisen peliteorian kontekstissa. Perusteena väittämälleni on se, että Goldstonen varmuuspelissä roolissa **yksilö** pelissä tehokkain strategia on sekastrategia, joka noudattaa logiikkaa: pelaa 'ei osallistu', jos yksikään roolissa **kaikki muut** pelaa 'ei osallistu', mutta pelaa 'osallistu', jos kaikki roolissa **kaikki muut** pelaavat 'osallistu'. **Yksilön** intresseissä on siis olla tekemättä yhteistyötä, kunnes **kaikki muut** roolissa olevat ovat ottaneet populaation haltuun ja jos tätä seikkaa ei oteta huomioon, ei yksilöllä edelleenkään ole mitään perustetta muuttaa strategiaansa yhteistyötä suosivaksi. Goldstone ei mielestäni ole siis väärässä sen suhteen, etteivätkö oikeat toimijat voisi suosia yhteistoimintaan osallistumista, mutta hänen tulosmatriisin lopputuloksia analysoimalla voidaan todeta, että sillä ei evolutiivisen pelin lopputuloksen kannalta ole merkitystä.

vaikka Goldstone (1994, 143—149) kuvaa hyvin miten yksilöt sitoutuvat yhteistoimintaan kuten kapinointiin ryhmien kautta, hän noteeraa myös sen, että se ei kerro miten vapaamatkustajan ongelma voidaan välttää asetelmissa, joissa yksilöt ovat taipuvaisia valitsemaan vapaamatkustajan strategian. Goldstone (1994) on myös sen suhteen oikeassa, että mikäli todellisuutta vastaava asetelma olisi sellainen, jossa yksilöillä ei ole syytä olla osallistumatta yhteistyöhön, ei vapaamatkustamista voi muodostua pitkällä tähtäimellä. Tämä ilmenee myös varmuuspelissä, sillä kaikki vapaamatkustajat päätyvät pelissä lopulta osallistumaan kollektiiviseen toimintaan, koska se on strategisesti kannattavaa. Tämä on todistettavissa myös evolutiivisen peliteorian kautta sijoittamalla Goldstonen varmuuspelin arvot evolutiiviseen peliin. Yhteistoimintaan osallistuminen on Goldstonen varmuuspelissä evolutiivisesti stabiili strategia ja populaatio päätyy lopulta Goldstonen pelissä aina koostumaan pelkästään yhteistoimintaan osallistuvista kun peliä on pelattu riittävän monta kierrosta, tasapainoon vaadittavien kierrosten määrä riippuu aloituspopulaation strategioiden frekvensseistä ja roolien **yksilö** ja **kaikki muut** strategioiden frekvenssien suhteesta,

mikä käy ilmi kuvaajista 4.4 ja 4.5.

Jos Goldstonen peliä tarkasteltaisiin vielä lisäämällä siihen kustannuksettomat signaalit, peli ei juurikaan muuttuisi luonteeltaan. Halvan puheen lisääminen Goldstonen varmuuspeliin vahvistaisi entisestään yhteistoimintaan osallistumisen tasapainoa, koska **yksilö** roolissa olevat pelaajat eivät voi hyötyä väärin signaalien lähettamisestä ja **kaikki muut** roolissa olevilla ei ole motiivina lähettää hämääviä signaaleja, koska heidän tulos ei riipu siitä mitä strategiaa **yksilöt** pelaavat. Peliin ei välttämättä muodostuisi signaalijärjestelmää, koska **kaikki muut** toimisivat siten, että pelaaja lähettää yhden kahdesta signaalista (koska pelissä on vain kaksi toimintoa) ja valitsisi pelata 'osallistuu', jolloin pian muodostuisi tasapaino signaalin ja toiminnon välille. Tämä tasapaino ei kuitenkaan olisi välttämättä signaalijärjestelmä, koska **kaikki muut** roolissa pelaaja voisi teoriassa lähettää sattumanvaraisen signaalin, mutta valita aina toiminnon 'osallistuu'. Näin ollen se täyttäisi Lewisin ja Skyrmsin ehdot tasapainosta, mutta ei signaalijärjestelmästä.

Signaalit toisinsanoen eivät varmuuspelissä sisältäisi juuri mitään merkittävää informaatiota pitkällä aikavälillä, koska loogiseen päättelyyn kykenevät pelaajat **yksilön** roolissa muutaman kierroksen jälkeen ymmärtäisivät **kaikki muut** roolissa olevien pelaajien signaalien ja toimintojen suhteen ja **yksilöt** osaisivat valita sitten heidän kannalta kannattavan strategian. Lyhyellä aikavälillä pelaajien intresseissä on ratkaista koordinaatio-ongelma, joka Goldstonen varmuuspelissä on, että **yksilöiden** tulisi pelata sama toiminto kuin **kaikki muut** roolissa olevien pelaajien. Kustannuksettomat signaalit voisivat siis nopeuttaa pelissä olevan koordinaatio-ongelman ratkaisemista, mutta niitä ei välttämättä tarvita sen ratkaisemiseen.

Lopuksi haluan todeta, että tarkoitukseni ei ole kyseenalaistaa Goldstonen (1994) artikkelin merkitystä yhteistoiminnan luonnehdinnan osalta millään tavoin. Esiteltyäni itse muokkaamani evolutiivisen pelin Goldstonen (1994) artikkelissa esitellyillä arvoilla käy kuitenkin ilmi, että Goldstonen (1994) käyttämät arvot eivät välttämättä ole peliteoreettisen kontekstin kannalta toimivia yhteistyön kehittymisen tarkasteluun. Pelissä esiintyy kuitenkin dynamiikka, joka vaikuttaisi ohjaavan kehitystä siten, että kun **yksilöt** alkavat imitoimaan sitä mitä **kaikki muut** valitsevat pelissä. Lisäämällä peliin Skyrmsin (2004) mukaisen naapurustollisen vuorovaikutuksen, **yksilöt** olisivat huomattavasti nopeampia adoptoimaan strategian *osallistu aina yhteistoimintaan*, joka on Goldstonen (1994) pelissä Vanhasen arvoilla ainoa evolutiivisesti stabiili strategia. Pelin strategioiden evoluutio sai pelin vaikuttamaan siltä, että yksilöt menettävät pelissä aidon valinnan mahdollisuuden lopulta kokonaan. Tämä valinnan menettäminen ei kuitenkaan olisi välttämättä kaikissa tapauksissa huono asia, esimerkiksi kollektiivinen toiminta, joka johtaisi onnistuessaan

johonkin universaalisti hyvinvointia edistävään asiaan olisi tavoiteltavissa oleva asia ainakin kirjoittajan mielestä.

## 5.0. Yhteenveto

Tutkimus on tullut päätökseensä ja on aika todeta mitä tutkimuksesta voidaan oppia. Tutkimuksen alussa käsitelin sekä peliteorian, että evolutiivisen peliteorian käsitteistöä. Lisäksi esittelin lyhyesti peliteorian ja simulaatioiden kohtaamaa kritiikkiä. Evolutiivinen peliteoria onnistuu vastaamaan klassisessa peliteoriassa ilmeneviin ongelmiin joiltain osin paremmin, koska teoria ei edellytä pelaajilta tai populaatioilta instrumentaalisen rationalismin periaatetta. Evolutiivinen peliteoria kykenee myös vastaamaan osaan klassisen peliteorian saamasta kritiikistä esittämällä uusia tapoja ja malleja hahmottaa vuorovaikutusta matemaattisesti. Evolutiivinen peliteoria on tutkimuskohteena kuitenkin vielä niin uusi, että sitä ei ole vielä selkeästi koeteltu riittävästi filosofiselta näkökannalta. Tutkimukseni toivottavasti sekä rohkaisee tutustumaan teoriaan sekä vastaanottavasti, että kriittisesti. Tietokoneella simuloitujen mallien tuottamaan dataan tulee suhtautua varovaisella kriittisyydellä ja kysyä ovatko mallit epistemologisesti kestäviä suhteessa niiden tuottamiin lopputuloksiin.

Maynard Smithin ajatus soveltaa peliteoriaa evoluutiobiologiaan on rikastuttanut tieteellisiä malleja, joilla voidaan tehdä ennustuksia maailmasta tai yrittää kuvata sitä. Evolutiivisen peliteorian leviäminen myös muille tieteenaloille on nähdäkseni osoitus siitä, että teoria on tieteiden kentällä relevantti nykypäivänäkin. Evolutiivista peliteoriaa voitaisiin esimerkiksi soveltaa ilmastonmuutoksen torjumiseen siten, että teoriaa soveltamalla yritettäisiin selvittää, mikä olisi sekä ympäristöllisesti ja taloudellisesti stabiili tila. Evolutiivista peliteoriaa voidaan myös hyödyntää tutkittaessa yhteiskunnallisia asetelmia, joissa vallitsee vapaamatkustajan ongelma etsimällä niihin yhteistyöhön kannustavia tasapainoja. Teoriaa voidaan hyvin soveltaa suuriin populaatioihin, mikä tekee siitä paremman tarkastelemaan suuria populaatioita kuin perinteisen peliteorian, mutta pelien rakenteellisessa mallinnuksessa on vielä hiottavaa.

Skyrmsin tutkimukset lisäävät ymmärrystämme siitä miten yhteistyö voi kehittyä, jopa asetelmissa, joissa se ei ole suosittu valinta. Tunnistamalla mitkä rakenteet peleissä edesauttavat yhteistyön muodostumista tai rohkaisevat vapaamatkustamiseen auttavat meitä ymmärtämään mahdollisia todellisen elämän rakenteita, joissa vastaava dynamiikka on havaittavissa. Skyrmsin tutkimuksista selvisi myös, että signaaleilla on kiihdyttävä vaikutus yhteistyön kehittymiseen.

Lyhyt kataus kollektiiviseen toimintaan selvensi, että kollektiivisen toiminnan tulisi tähdätä tavoitteisiin, jotka ovat myös yksilöille hyödyllisiä, jotta ne saisivat kannatusta. Vaihtoehtoisesti yksilöä voidaan houkutella kollektiiviseen toimintaan vaihtoehtoisin palkitsemistavoin.



Kollektiivisen toiminnan piiriin kuuluvia tilanteita saatamme kohdata jokapäiväisessä elämässämme. Tilanteisiin mahdollisesti sisältyvät sosiaaliset dilemmat, joissa oma itsekäs etumme on ristiriidassa ryhmän edun kanssa voivat olla piinaavia. Vaikkakaan emme välttämättä itse etsisi ratkaisua dilemmoihin peliteoreettisella ajattelulla, ei ajattelutavasta ole haittaakaan, vaan se voi tarjota joskus myös uusia näkökulmia. Erityisesti peliteoreettista ajattelua kannattaisi soveltaa metodina sopimuksia tai lakeja säädettyä, koska peliteoreettinen metodi voi paljastaa etukäteen epäoikeudenmukaiset sopimukset, joista voidaan helposti luistaa tilanteen salliessa.

Strategioiden kehitys evoluutiivissa peleissä antaa meille kuvan siitä, miten erilaisissa asetelmissa ja rakenteissa olevat seikat muuttavat toimintatapojamme. On esimerkiksi mielekästä kysyä, että johtuvatko jotkin päätöksemme puhtaasti säännöistä, joiden raameissa elämme. Voisiko sääntöjä tai järjestelmällisiä rakenteita kehittää siten, että ne kannustaisivat yhteistyöhön? Evoluutiivinen peliteoria tarjoaa tähän työkaluja ja etenkin yhteiskunnan suuria rakennemuutoksia olisi hyvä tarkastella esimerkiksi evoluutiivisen peliteorian menetelmin ja selvittää ovatko ne kestäviä ratkaisuja pitkällä tähtäimellä. Väitänkin näin lopuksi, että on joitakin vain kollektiivisen toiminnan piirissä saavutettavissa olevia tavoitteita, joiden eteen on mahdollisesti tehtävä poliittisia rakennemuutoksia. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen tai köyhyyden torjumista voitaisiin tarkastella evoluutiivisen peliteorian näkökulmasta. Uskoisin, että sekä yksilöiden ja yhteisöjen jaetuissa intresseissä olisi löytää ratkaisuja, jotka mahdollistaisivat sekä aidon yksilönvapauden valita, että olisivat pitkällä aikavälillä sekä ihmis- että eliökunnan kannalta evoluutiivisesti stabiileja ratkaisuja.

## Lähteet:

Alexander, J. McKenzie, & Skyrms, Brian. (1999) "Bargaining with Neighbors: Is Justice Contagious?" *Journal of Philosophy* 96: 588—598.

Alexander, J. McKenzie. (2000) "Evolutionary Explanations of Distributive Justice," *Philosophy of Science* 67, no. 3 (Sep., 2000): 490-516.

Alexander, J. McKenzie, "Evolutionary Game Theory", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2009 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/game-evolutionary/>>. Luettu 03.01.2018.

Barasch, Alixandra, Jonathan Z., Berman, Levine, Emma E., Rand, David & Small, Deborah A: "*Signaling Emotion and Reason in Cooperation*" (2018). *Journal of Experimental Psychology: General*: Vol. 147, No. 5, 702—719.

Dawkins, Richard. *The Selfish Gene* (2006). Oxford: Oxford University Press.

De Jasay, Anthony. *Social Contract, Free Ride : A Study of the Public-Goods Problem* (1989). Indianapolis: The Liberty Fund, Inc.

Doebeli, Michael & Hauert, Cristoph. (2004) "*Spatial structure often inhibits the evolution of cooperation in the snowdrift game*." *Nature* vol. 428, 643—646.

Goldstone, Jack (toim.). *Revolutions: Theoretical, Comparative, and Historical Studies* (1986). Harcourt Brace Jovanovich.

Goldstone, Jack. "*Is Revolution Individually Rational?: Groups and Individuals in Collective Action*." *Rationality and Society*, Vol. 6 No. 1 (1994): 139—166.

Hume, David. (2009) *A Treatise of Human Nature Being an Attempt to introduce the experimental Method of Reasoning into Moral Subjects*. The Floating Press.

Kuhn, Steven, "Prisoner's Dilemma", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL =

<<https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/prisoner-dilemma/>>. Luettu 21.05.2018

Kuorikoski, Jaakko & Lehtinen, Aki. (2007) *Unrealistic Assumptions in Rational Choice Theory*. *Philosophy of the Social Sciences* vol. 37, 115—138.

Lambertini, Luca. *Game Theory in the Social Sciences : A reader-friendly guide* (2011). New York: Routledge.

Lewis, David K. *Convention : A Philosophical Study* (1969). Cambridge: Harvard University Press.

Maynard Smith, John. *Evolution and the Theory of Games* (1982). Cambridge: Cambridge University Press.

Maynard Smith, John & Price, George. *The Logic of Animal Conflict* (1973). *Nature* vol. 246, 15—18.

McKinsey, J. C. C. *Introduction to the Theory of Games* (1952). New York: McGraw-Hill Book Company Inc.

Olson, Mancur. *The Logic of Collective Action Public Goods and the Theory of Groups* (1971). Cambridge: Harvard University Press.

Osborne, Martin J. *An Introduction to Game Theory* (2004). Oxford, New York: Oxford University Press.

Pemantle, Robin & Skyrms, Brian. *A Dynamic Model of Social Network Formation* (2000). PNAS. Saatavilla osoitteesta: <https://www.pnas.org/content/97/16/9340>

Risjord, Mark. *Philosophy of Social Science: A Contemporary Introduction* (2014). New York: Routledge.

Ross, Don, "Game Theory", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/game-theory/>>. Luettu 27.12.2017.

Sandholm, William H. *Population Games and Evolutionary Dynamics* (2010). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Skyrms, Brian. *Signals, Evolution and the Explanatory Power of Transient Information*. *Philosophy of Science*, 69 (September 2002) pp. 407–428.

— *The Stag Hunt and the Evolution of Social Structure* (2004). Cambridge: Cambridge University Press.

— *Signals — Evolution, Learning, & Information* (2010). New York: Oxford University Press.

— *Evolution of the Social Contract* (2014). Cambridge: Cambridge University Press.

Tullock, Gordon. *The Paradox of Revolution*. *Public Choice* 11 (Fall 1971): 89—99.

Van Lange, Paul A. M., Rockenbach, Bettina & Yamagishi, Toshio (toim.). *Reward and Punishment in Social Dilemmas* (2014). Oxford, New York: Oxford University Press.

Von Neumann, John & Morgenstern, Oskar. *Theory of Games and Economic Behavior* (1953). Princeton: Princeton University Press.

Weibull, Jörgen W. *Evolutionary Game Theory* (1996). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Winsberg, Eric B. *Science in the Age of Computer Simulation* (2010). Chicago: The University of Chicago Press.