

Katsauksia ja keskustelua

Taloustieteen Nobel peliteorian kehittäjille

KLAUS KULTTI

Vuoden 1994 taloustieteen Nobelin palkinnon saivat professori *John Harsanyi* (University of California, Berkeley), tohtori *John Nash* (Princeton University, Princeton) ja professori *Reinhard Selten* (Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn). Palkitut ovat tehneet perustavaa työtä ei-yhteistoiminnallisen peliteorian alalla. Katsaus johtaviin taloustieteellisiin julkaisuihin osoittaa, että heidän tutkimuksensa on yhä ajankohtaista. Peliteoria on keskeinen analyyttinen väline ja suosittu tutkimuksen kohde.

I Pelit ja talous

Tavallisissa ajanvietepeleissä kuten shakissa ja pokerissa menestyminen edellyttää, että pelaaja ajattelee "eteenpäin". Hänen on yritettävä arvioida, mitä vastustajat tekevät ja suunniteltava siirtonsa sen mukaan, mitä odottaa vastustajien tekevän. Tällaiset strategiset tilanteet ovat yleisiä monissa taloudellisesti kiinnostavissa ilmiöissä. Peliteoria on matemaattinen menetelmä, jonka avulla niitä voidaan analysoida.

Peliteorian hyödyllisyys taloustieteessä tuotiin painavasti esille *John von Neumannin ja Oskar Morgensternin* teoksessa *Theory of Games and Economic Behavior* (1944). Heidän tärkeimmät ajatuksensa liittyvät kahden henkilön nollasummapeleihin. Nollasummapelissä yhden pelaajan voitto on aina yhtä suuri kuin toisen pelaajan tappio. Jo 1928 von Neumann kehitti niin sanotun minimax-

ratkaisun kahden henkilön nollasummapeleille. Minimax-ratkaisun mukaan kumpikin pelaaja tarkastelee kuhunkin strategiaansa liittyvää huonointa mahdollista tulosta ja valitsee sitten parhaimman näistä huonoista vaihtoehdoista. Tällä tavalla menetellen kumpikin pelaaja voi taata itselleen tietyn minimivoiton. Aina ei ole olemassa sellaisia strategioita, että pelaajat saavuttaisivat juuri maksimin minimivoitoistaan. von Neumann osoitti, että konsistentit strategiat eli minimax-ratkaisu ovat aina olemassa, jos pelaajien sallitaan käyttävän sekastrategioita. Sekastrategiat ovat todennäköisyysjakaumia pelaajien strategiajoukolla. Kun käytetään sekastrategioita, pelaajat valitsevat (puhtaat) strategiansa tietyillä todennäköisyyksillä. Jos pelaajan mahdolliset strategiat ovat esimerkiksi sellaiset, että hän voi valita vasemman- tai oikeanpuoleisen tien, puhtaita strategioita käyttäen hän valitsee joko oikean tai vasemman. Sekastrategia on sellainen, että pelaaja valitsee esimerkiksi lanttia heittämällä mennäkö vasemmalle vai oikealle eli todennäköisyydellä puoli hän menee vasemmalle ja samalla todennäköisyydellä oikealle.

Peliteorian hyödyllisyys perustuu tasapainokäsitteeseen. Tasapaino on peliteorian ennustus, siitä mitä tietyssä pelissä tapahtuu. Minimax-ratkaisu ei ole kovin tyydyttävä ratkaisukäsite. Kun tarkastellaan muita kuin nollasummapelejä tai jos pelaajien lukumäärä on suurempi kuin kaksi, minimax-ratkaisua ei välttämättä ole olemassa tai se ei täytä

tasapainolta vaadittavia kriteerejä. Tarvitaan jotain parempaa, jotta peliteoria olisi käyttökelpoista. Nobelistien kontribuutio voidaan nähdä hyvien ratkaisukäsitteiden kehittämisessä yleisille peleille.

2 John Nash

John Nash syntyi Bluefieldissä, West Virginiassa 1928. Hän opiskeli Carnegie Institute of Technologyssä Pittsburgissa, josta hän siirtyi Princetonin yliopistoon 1948. Siellä hän väitteli matematiikasta 1950. Väitöskirjansa *Non-cooperative Games* pohjalta Nash julkaisi kuuluisat artikkelinsa *Equilibrium Points in N-Person Games* (1950a) ja *Non-Cooperative Games* (1951). Väitöskirjassaan Nash luokitteli pelit yhteistoiminnallisiin ja ei-yhteistoiminnallisiin. Jälkimmäisissä peleissä pelaajat eivät voi tehdä sitovia sopimuksia eivätkä toimia ryhmänä tai ryhminä. Ei-yhteistoiminnallisille peleille Nash kehitti yleisen tasapainokäsitteen, jota kutsutaan nykyään osuvasti *Nash-tasapainoksi*. Nash-tasapainon käyttökelpoisuus ratkaisukäsitteenä perustuu kahteen seikkaan. Ensinnäkin sitä voidaan käyttää peleissä, joissa pelaajien lukumäärä ja preferenssit ovat mielivaltaisia (siis muutkin kuin nollasummapelit). Toiseksi Nash osoitti, että kun pelaajien strategiajoukko (eli puhtaiden strategioiden lukumäärä) on äärellinen, Nash-tasapaino on aina olemassa, jos sekastrategioiden käyttö sallitaan.

Nash-tasapaino on helppo määritellä ilman formaalia välineistöä. Nash-tasapainossa pelaajien strategiat ovat sellaiset, että kenenkään ei yksinään kannata vaihtaa strategiaansa, jos muut pysyvät tasapainostrategioissaan. Tasapainossa kunkin pelaajan strategia on paras vastaus muiden pelaajien strategioihin/valintoihin nähden.

Ei-yhteistoiminnallinen peliteoria ja Nash-tasapainon käsite ovat muodostuneet strandardivälineiksi lähes kaikilla mikrotalousteorian osalualueilla. Kaikkein tutuin lienee yritysten välinen kilpailu teollisen organisaation alalla. Mikrotalousteorianta on hyvin vaikea löytää alueita joille peliteoreettinen lähestymistapa ei olisi levinnyt. Myös makrotalousteoriassa Nashin kehittämiä

käsitteitä on käytetty hyväksi muun muassa talouspolitiikassa ja ulkomaankauppapolitiikassa.

Hyvän teorian tunnusmerkkejä noudattaen ei-yhteistoiminnallisesta peliteoriasta on syntynyt uusia tutkimusalueita. Instituutioiden tutkimus perustuu paljolti ei-yhteistoiminnallisen peliteorian ratkaisukäsitteisiin toistettujen pelien maailmassa. Informaation taloustiede ei olisi mahdollista ilman peliteoreettista välineistöä.

Nash-tasapainolla on kuitenkin heikkouksia, jotka vähentävät sen käyttökelpoisuutta suuressa joukossa taloudellisesti merkittäviä tilanteita tai pelejä. Seltenin ja Harsanyin kontribuutiot peliteoriaan perustuvat Nash-tasapainoon liittyvien ongelmien ratkaisuun.

3 Reinhard Selten

Reinhard Selten syntyi Saksan Breslaussa 1930. Hän väitteli tohtoriksi Frankfurtin yliopistossa 1961 ja suoritti korkeamman tohtorin tutkinnon (habilitation) samassa yliopistossa 1968.

Nash-tasapainon hyödyllisyyttä pelin ratkaisukäsitteenä rajoittaa se, että tasapainoja on tyypillisesti suuri määrä. Tämän seurauksena on syntynyt laaja kirjallisuus, jonka tavoitteena on kehittää kriteerejä "huonojen" Nash-tasapainojen eliminomiseksi. Selten loi systemaattisen perustan tälle kirjallisuudelle 1965 ilmestyneessä artikkelissaan *Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodelle mit Nachfragetragheit*. Siinä hän esitteli osapelitäydellisyuden käsitteen, jonka avulla tietyissä tapauksissa päästään eroon talousteoreettisesti epätydyttävistä tasapainoista. Ajatus on, että tasapainot, jotka perustuvat epäuskottavien uhkauksien käyttöön, poistetaan pelin ratkaisujen joukosta.

Esimerkiksi voidaan ajatella peliä, jossa pelaajat ovat julkinen valta ja yksityiset pankit. Julkinen valta voi uhata, että jos pankit eivät käyttäydy hyvin ja harrasta järkevää riskinottoa, niin julkinen valta antaa vaikeuksiin joutuneiden pankkien mennä konkurssiin. Pankit joutuvat nyt pohtimaan toimia-ko niin kuin julkinen valta sanoo vai ottaako riski. Yksi Nash-tasapaino tässä pelissä on sellainen, että

pankit toimivat niin kuin julkinen valta ehdottaa, pankit eivät joudu vaikeuksiin, eivät saa suuria voittoja eikä julkinen valta joudu pohtimaan pelastustoimenpiteitä. Toinen Nash-tasapaino on sellainen, että pankit ottavat riskin, koska julkisen vallan uhkaus päästää pankit konkurssiin ei ole uskottava. Jos pankit joutuvat konkurssiin partaalle, niin tilanne on jo päässyt pahaksi eikä julkisen vallan uhkauksen estovaikutuksella ole enää merkitystä. Tässä vaiheessa julkisen vallan ratkaisuihin vaikuttaa ainoastaan se, kumpi tulee yhteiskunnallisesti edullisemmaksi, pankkien päästäminen konkurssiin vai niiden pelastaminen. Jos pelastaminen on edullisempaa, niin alkuperäinen uhkauskään ei ole uskottava ja voittomahdollisuuksien ollessa riittävät pankit ottavat suuret riskit. Tämä on ainoa tasapaino, joka nyt toteuttaa Seltenin osapelitäydellisyyskriteerin.

Tasapainon osapelitäydellisyyskriteeri mahdollistaa formaalin tarkastelun talousteorian alueilla, joilla uhkaukset, lupaukset ja uskottavuus ovat tärkeässä asemassa. Näitä ovat muun muassa talouspolitiikka ja epätäydellisen kilpailun teoria eli oligopoliteoria. Osapelitäydellisyyskriteeri on niin sanotun tasapainon jalostuskirjallisuuden (refinement literature) perusta. Samalle ajatukselle pohjautuu valtaosa yrityksistä keksiä lisäkriteerejä, joita "järkevä" tasapainon tulisi toteuttaa. Suuressa joukossa pelejä vaatimus osapelitäydellisyydestä ei rajoita tasapainojen joukkoa riittävästi.

Artikkelissaan *Reexamination of the Perfectness Concept for Equilibrium Points in Extensive Games* (1975) Selten esitteli uuden tasapainon jalostuskriteerin. Tasapainoa joka toteuttaa sen sanotaan vapisevan käden tasapainoksi (trembling hand equilibrium). Käsite perustuu ajatukseen, että pelaajat tekevät pienillä todennäköisyyksillä virheitä valitessaan strategiansa eli valitsevat muun kuin haluamansa strategian. Jos strategia valitaan esimerkiksi nappia painamalla, ajatellaan että pelaajan käsi vapisee ja hän saattaa painaa väärää nappia. Vapisevan käden tasapainot ovat vakaita siinä mielessä, että pienet muutokset pelin rakenteessa eivät muuta pelaajien käyttäytymistä tasapainossa. Tämän tyyppinen ajatus on osoittautunut

hyvin käyttökelpoiseksi useilla taloustieteen alueilla muun muassa teollisen organisaation teoriassa.

4 John Harsanyi

John Harsanyi syntyi Budapestissä Unkarissa 1920. Kommunistien valtaannousun jälkeen hän lähti Unkarista päätyen Stanfordin yliopistoon, jossa hän valmistui tohtoriksi 1959.

Yksi Nash-tasapainon tulkinta on, että pelaajat ovat rationaalisia, heillä on täydellinen informaatio pelin rakenteesta mukaan lukien muiden pelaajien preferenssit ja että kaikki tietävät että kaikki tietävät tämän. Useat taloudellisesti mielenkiintoiset kysymykset ovat sellaisia, että oletus täydellisestä informaatiosta on kohtuuton ja vääristävä. Näitä kysymyksiä ei kuitenkaan pystytty tutkimaan strategisesta näkökulmasta peliteorian välineiden kehittymättömyyden vuoksi.

Tilanne muuttui vuosina 1967-1968, jolloin John Harsanyi julkaisi kolme artikkelia *Games with Incomplete Information Played by Bayesian Players I, II, III*. Hänen lähestymistapansa strategiisiin tilanteisiin, joissa informaatio on epätäydellistä, loi pohjan liki koko informaation taloustieteelle.

Harsanyiin keksintö oli ajatella, että kukin pelaaja voi olla useaa eri tyyppiä. Jokaisella tyyppillä on omat preferenssinsä ja uskomuksensa muiden pelaajien mahdollisista tyypeistä. Epätäydellisen informaation pelissä kukin pelaaja valitsee strategian jokaiselle tyyppilleen. Harsanyi osoitti, että kun pelaajien uskomukset toteuttavat tietynlaiset konsistenssi vaatimukset, jokainen epätäydellisen informaation peli voidaan muuntaa ekvivalentiksi täydellisen informaation peliksi. Nämä taas voidaan ratkaista tavanomaisilla menetelmillä.

Standardiesimerkki epätäydellisen informaation tilanteesta on julkishyödykkeen tarjonta. Tietyillä asuntoalueilla on rikollisuuden estämiseksi järjestetty asukkaiden vapaaehtoinen partiointi. Partioinnista on tietysti kustannuksia, mutta ne vaihtelevat asukkaalta toiselle ja ovat henkilökohtaista informaatiota. Partiointi saadaan järjestetyksi, jos riittävän moni asukas suostuu siihen. Kunkin asukkaan kannalta olisi mukavinta, jos kaikki muut

osallistuisivat partiointiin ja hän voisi korkeisiin kustannuksiinsa vedoten luistaa siitä. Kun kaikki ajattelevat näin, saattaa käydä, että kaikki väittävät kustannuksiaan erityisen suuriksi ja rikollisuuden estäminen vapaaehtoisin keinoin epäonnistuu. Odotusten muodostumista muiden kustannuksista ja tämän pelin ratkaisua voidaan analysoida Harsanyin kehittämällä tekniikoilla. Yhteiskunnallisesti merkittävämmältä tuntuva esimerkki on monopolin tai tietyn teollisuuden alan sääntely. Julkisella vallalla ei voi olla täydellistä tietoa yritysten kustannuksista ja tekniikoista. Yleensä yrityksillä on kannustin liioitella kustannuksiaan ja jos julkinen valta ottaa ne todesta päädytään epäoptimaaliseen lopputulokseen. Jos yritys tietää, että julkinen valta ei täysin usko sen ilmoitukseen, yrityksen kannattaa ottaa sekin huomioon ja räätälöidä ilmoituksensa uuteen uskoon. Julkinen valta pystynee ottamaan sen huomioon ja yritys sen jne. Harsanyin kehittämällä tekniikoilla tämä melko monimutkaiselta vaikuttava tilanne voidaan mallintaa ja löytää pelille ratkaisu eli optimaalinen säätelyn taso.

5 Muut kontribuutiot

Ruotsin tiedeakatemian mukaan nobelistit saivat palkinnon erityisesti uraa uurtavasta työstään ei-yhteistoiminnallisen peliteorian tasapainojen tutkimuksesta. He ovat luonnollisesti tehneet muutakin tieteellisesti merkittävää.

John Nash loi niin sanotun Nash-ohjelman (Nash program), jonka päämäärä oli lähestyä yhteistoiminnallisia pelejä redusoimalla ne ei-yhteistoiminnalliseen muotoon. Artikkeleissaan *The Bargaining Problem* (1950b) ja *Two-Person Cooperative Games* (1953) Nash loi perustan aksiomaattiselle neuvotteluteorialle (bargaining theory), osoitti Nash-neuvotteluratkaisun olemassaolon sekä toteutti ensimmäisenä Nash-ohjelmaa osoittaessaan, että Nash-neuvotteluratkaisu saadaan hänen kehittämänsä ei-yhteistoiminnallisen pelin Nash-tasapainona.

Selten on tutkinut evoluutionääristä peliteoriaa sekä kokeellista peliteoriaa, joista kumpikin kuuluu

tämän hetken keskeisiin tutkimusalueisiin peliteoriassa. Selten on painottanut, että peliteorian kehittyminen edellyttää empiiristä tietoa siitä, miten ihmiset todella pelaavat pelejä. Kiintoisaa on, että yksi Nashin väitöskirjassaan tasapainolle antama tulkinta oli luonteeltaan evoluutionäärinen. Tätä ei kuitenkaan koskaan julkaistu artikkeleissa, joten se jäi unohtuiksi viime aikoihin asti kunnes evoluutionäärinen peliteoria tuli suosituksi. Harsanyilla on merkittäviä julkaisuja hyvinvointiteorian ja moraalifilosofian alalla. Käytännöllisen filosofian koulutusohjelmassa tutkintovaatimuksiin kuuluu Harsanyin teoksia toisin kuin taloustieteessä. Peliteorian alalla Harsanyi on antanut sekastrategioille tulkinnan, joka tekee elämän helpommaksi niille, joiden on vaikea uskoa että pelaajat todella käyttäisivät sekastrategioita. Tämän tulkinnan mukaan peli ajatellaan usein toistuvaksi tilanteeksi, jossa pelaajien preferensseissä on pientä variaatiota. Kukin pelaaja tietää omat preferenssinsä mutta eivät muiden preferenssejä. Sekastrategiatasapaino kertoo frekvenssit, joilla eri strategiat valitaan yli ajan, kun kullakin hetkellä valitaan vain puhtaita strategioita. Harsanyi ja Selten ovat työskennelleet yhdessä pari vuosikymmentä. He julkaisivat 1988 *A General Theory of Equilibrium Selection in Games*, jossa esitetään ensimmäistä kertaa yleiset periaatteet tasapainon valitsemiseksi. He kehittivät kriteeristön, jonka avulla jokaisessa ei-yhteistoiminnallisessa ja yhteistoiminnallisessa pelissä voidaan valita yksi tasapaino. Teos on vaikuttava ratkaisu tasapainon monikäsitteisyysongelmaan peleissä. Tosin kirjoittajat sanoutuivat irti kirjan filosofiasta melko pian sen ilmestymisen jälkeen.

6 Lopuksi

Nash, Selten ja Harsanyi palkittiin pikemminkin laadun kuin määrän perusteella. Kaksi ensin mainittua jäivät selvästi alle keskitason julkaistujen artikkelien määrässä verrattainpa heitä muihin nobelisteihin tai muihin hyviin taloustieteilijöihin. Heidän kontribuutionsa ovat luoneet pohjan tutkimussuunnalle, joka voi hyvin ja kehittyä yhä.

Peliteorian käyttökelpoisuutta ja yleisyyttä analyysin apuvälineenä kuvannee se, että peliteoria ei ole mitenkään sidottu taloustieteeseen. Sitä käytetään muissakin yhteiskuntatieteissä menestyksellä. Yhteiskuntatieteiden ja erityisesti taloustieteen lisääntyvästä formalismista katkerat tahot eivät ehkä näe peliteorian merkitystä taloustieteessä yhtä positiivisessa valossa kuin Ruotsin tiedeakatemia. Nobeleista ainakin Selten on ollut hyvin tietoinen formaaleihin menetelmiin liittyvistä vaaroista. Hän onkin jatkuvasti painottanut, että peliteorian hyödyllisyys taloustieteessä ratkeaa viime kädessä sen perusteella, kuinka sen soveltaminen auttaa meitä ymmärtämään talouden toimintaa.

Tiedeakatemia luonnehtii nobelistien keskinäistä yhteyttä seuraavasti. Heidän kontribuutionsa ei-yhteistoiminnallisten pelien teoriaan liittyvät toisiinsa luontevasti: Nash kehitti teorian perusteet, Selten kehitti sen dynaamista puolta ja Harsanyi kehitti sitä epätäydellisen informaation osalta. Nobelin palkinto 1994 onkin leimallisesti palkinto peliteorialle, jonka kehittäjiä on luonnollisesti muitakin kuin kolme nobelistia. Palkinnon myöntäminen herättää aina jupinan siitä, menikö palkinto oikeille ihmisille ja olisiko se pitänyt myöntää jollekin muulle. Tänä vuonna voidaan keskittyä pohtimaan esimerkiksi sitä, missä suhteessa *Robert Aumannin* ja *Lloyd Shapleyn* kontribuutiot ovat nobelistien saavutuksiin.

Kirjallisuus

- Harsanyi J.C. (1967/68): "Games with Incomplete Information Played by 'Bayesian' Players, Parts I, II and III", *Management Science* 14, 159-182, 320-334 ja 486-502.
- Harsanyi J.C. - Selten R. (1988): *General Theory of Equilibrium Selection in Games*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Nash J. F. (1950a): "Equilibrium Points in N-Person Games", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 36, 48-49.
- Nash J. F. (1950b): "The Bargaining Problem", *Econometrica* 18, 155-162.
- Nash J. F. (1951): "Non-Cooperative Games", *Annals of Mathematics* 54, 286-295.
- Nash J. F. (1953): "Two-Person Cooperative Games", *Econometrica* 21, 128-140.
- Selten R. (1965): "Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfrageträgheit", *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft* 121, 301-324.
- Selten R. (1975): "Reexamination of the Perfectness Concept for Equilibrium Points in Extensive Games", *International Journal of Game Theory* 4, 25-55.
- von Neumann J. - Morgenstern O. (1944): *Theory of Games and Economic Behavior*, New York: John Wiley and Sons.