

Aalto-yliopisto
Kauppakorkeakoulu
Taloustieteen laitos

Vakuutukset, haitallinen valikoituminen ja moraalikato

Kandidaatintyö

1. helmikuuta 2018

Niko Hujanen

Aalto-yliopisto Kauppakorkeakoulu PL 11000, 00076 Aalto http://www.aalto.fi	KANDIDAATINTYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Niko Hujanen		
Työn nimi: Vakuutukset, haitallinen valikoituminen ja moraalikato		
Tutkinto-ohjelma: Kauppatieteiden kandidaatin tutkinto		
Pääaine: Taloustiede		
Ohjaaja: Pauli Murto		
Opponentti: Alekski Lintunen		
<p>Tämä kandidaatintyö on kirjallisuuskatsaus, jossa käsitellään vakuutuksiin liittyvää taloustiedettä odotetun hyödyn teorian pohjalta. Lisäksi siinä käsitellään vielä haitallista valikoitumista ja moraalikatoa, jotka ovat vakuutuksille ominaisia ilmiöitä. Kirjallisuuskatsauksen perusteella päädyttiin lopputulemaan, jossa vakuutusten tarve perustuu yksilöiden riskiaversioon eli riskin kaihtamiseen. Riskiaversiion seurauksena he ovat valmiita luopumaan osasta odotusarvoista varallisuuttaan, jotta heidän ei tarvitsisi kantaa taloudellista riskiä. Toisena merkittävänä lopputulemana voidaan mainita vakuutusten luonne, jonka seurauksena myyjän ja ostajan välillä on usein epäsymmetristä informaatiota. Epäsymmetrisen informaation seurauksena ostajalla voi olla käytössään sellaista informaatiota, johon vakuutuksen myyjä ei pääse käsiksi ja tämä vaikeuttaa vakuutusten myymistä haitallisen valikoitumisen ja moraalikadon muodossa. Työssä näytetään, että pahimmassa tapauksessa haitallinen valikoituminen voi estää markkinoita asettumasta tasapainoon, ja tämän lisäksi pyritään tarjoamaan vielä keinoja, joilla ongelmaa voidaan estää muodostumasta. Toista ongelmaa, moraalikatoa, lähestytään kannusteongelmana. Ilmiötä mallinnetaan yksinkertaisen pelin avulla, minkä jälkeen analysoidaan moraalikatoa ehkäisevien kannusteiden parannuskeinoja.</p>		
Päivämäärä: 1. helmikuuta 2018	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 26
Avainsanat: vakuutus, haitallinen valikoituminen, moraalikato, epäsymmetrisen informaatio		

Sisällysluettelo

1 Johdanto	1
2 Vakuutuksen määrittely	2
2.1 Yksilön hyötyfunktio	2
2.2 Riski yksilölle	4
2.3 Riski vakuutusyhtiölle	6
2.4 Vakuutusmarkkinat	7
3 Haitallinen valikoituminen	10
3.1 Määritelmä	10
3.2 Haitallinen valikoituminen ja markkinatasapaino	11
3.3 Keinoja haitallisen valikoitumisen estämiseksi	14
4 Moraalikato	16
4.1 Ilmiö lyhyesti	16
4.2 Valvontapeli	17
4.3 Keinoja moraalikadon estämiseksi	19
5 Johtopäätökset	21
Viitteet	24
Liitteet	25

1 Johdanto

Tämä kandidaatintyö käsittelee vakuutuksia taloustieteen teorian näkökulmasta. Työ on pääasiassa teoreettinen, mutta se sisältää myös käytännön esimerkkejä ja sovelluksia, jotka pyrkivät kaventamaan teorian ja reaalia maailman välistä eroa. Aiheen tärkeyttä ja oleellisuutta kansantaloudelle ei liene tarpeellista loputtoman paljoa motivoida, sillä vakuutukset ovat monelle meille arkipäivää. Esimerkiksi kaikilla autoilijoilla on lakisääteisesti pakko olla vähintään tieliikennevakuutus, ja toisaalta jokaisen työssäkäyvän palkasta vähennetään työeläkevakuutus. Vakuutusten tärkeyttä voidaan perustella myös lukujen avulla, sillä vuonna 2015 suomalaiset vahinkovakuutusyhtiöt keräsivät vakuutusmaksutuloa liki 4,5 miljardilla eurolla (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2016). Tämä luku ei edes sisällä henki- ja työeläkevakuutusyhtiöiden perimiä maksuja, jolloin luku olisi vielä huomattavasti suurempi.

Taloudellisen relevanssin lisäksi vakuutusten teoreettinen analysointi johtaa mielenkiintoisiin ilmiöihin, joihin törmätään myös muilla talouden osa-alueilla kuin vakuutuksissa. Tällaisia ilmiöitä ovat muun muassa *haitallinen valikoituminen* ja *moraalikato*, jotka ovat luonteenomaisia juuri vakuutuksille mutta niihin törmätään jatkuvasti myös muissa *epäsymmetristä informaatiota* sisältävissä tilanteissa. Tässä työssä edellä mainittuja ilmiöitä tullaan käsittelemään nimenomaan vakuutusten näkökulmasta, mutta samoja opeuksia voidaan hyödyntää yleisemminkin.

Työn varsinaisena tavoitteena on saada ymmärrys siitä, kuinka vakuutuksia ja niihin liittyvää haitallista valikoitumista ja moraalikatoa voidaan mallintaa taloustieteen välinein. Ennen malleja on tietysti selvitettävä, mitä nämä ilmiöt oikeastaan ovat ja miten ne ilmenevät. Lisäksi kuten edeltä tuli ilmi, niin tavoitteena on myös liittää opitut asiat reaalia maailmaan, jotta ne eivät jäisi vain teoreettiseksi ihmetyksen aiheeksi.

Tavoitteisiin pääsemiseksi ensimmäisessä varsinaisessa luvussa 2 määritellään vakuutuksen ja riskin käsitteet sekä esitellään *odotetun hyödyn* teoria, johon vakuutusten oletetaan tässä työssä perustuvan. Teorian avulla pyritään ymmärtämään, kuinka vakuutusten ostajat reagoivat maailmassa oleviin riskeihin. Myös vakuutusten myyjien käyttäytymistä analysoidaan lyhyesti, sillä tarjontapuolella on markkinoilla oma merkityksensä. Luvun 3 tarkoituksena on määritellä haitallinen valikoituminen ja esittää keinoja sen ehkäisemiselle. Määrittelemisen lisäksi kappaleessa analysoidaan vakuutusmarkkinoita luvun 2 työkaluin. Luvussa 4 käsitellään moraalikatoa. Myös moraalikadon yhteydessä määritellään käsite ja pyritään tuomaan sekä teorian että esimerkkien avulla ilmi moraalikadon vaikutus vakuutuksiin. Luvun lopussa pohditaan vielä moraalikadon vähentämisen keinoja.

2 Vakuutuksen määrittely

Vakuutus voidaan ymmärtää taloustieteessä niin, että yksi toimija on valmis maksamaan toiselle vähentääkseen maksajan taloudellista riskiä (Goolsbee, Levitt ja Syverson, 2016, s. 561). Oleellisesti vakuutuksen ostaja siirtää taloudellisen riskin joko osittain tai kokonaan vakuutuksen myöntäjälle, vakuuttajalle. Edellisen perusteella on selvää, että vakuutus ja riski liittyvät toisiinsa. Markowitz (1952) toteaa portfolioteorian yhteydessä termin riski ilmenevän usein taloudellisessa kirjallisuudessa, mutta sen korvaaminen tuoton varianssilla ei tee juurikaan merkityseroa. Siksi riski voidaan ymmärtää kulloisenkin mielenkiinnon kohteen arvon vaihteluna.

Vakuutusten kontekstissa taloudellinen riski voidaan ajatella satunnaisen ilmiön suhteen tapahtuvana varallisuuden vaihteluna. Ajatellaan yksilöllä olevan lähtövarallisuus W_0 , ja sen arvo vaihtelee jonkin satunnaisen ilmiön lopputuleman perusteella. Yksinkertaisimmassa tapauksessa ilmiöllä on kaksi erilaista realisaatiota ω_1 ja ω_2 , jotka tapahtuvat todennäköisyyksillä $p \in (0, 1)$ ja $(1 - p)$. Realisaatiosta riippuen varallisuus saa arvot W_1 ja W_2 edellä mainituilla todennäköisyyksillä. Nämä tiedot riittävät varallisuuden odotusarvon $\mathbb{E}[W]$ ja varianssin σ_W^2 määrittämiseen. Taloudellinen riski voidaan mieltää nyt satunnaismuuttujana Z , jolla on odotusarvo $W_0 - \mathbb{E}[W]$ ja varianssi σ_W^2 . Riski on suotuisa, jos $\mathbb{E}[Z] > 0$; neutraali, jos $\mathbb{E}[Z] = 0$ ja epäsuotuisa, kun $\mathbb{E}[Z] < 0$. Käytännössä suotuisuus siis määrittyy odotusarvoisen varallisuuden muutoksen etumerkin perusteella. Tämä taloudellisen riskin luonnehdinta on muodostettu artikkelin (Pratt, 1964) pohjalta.

Vakuutuksen ja riskin käsitteiden avulla ymmärretään, että joku on valmis maksamaan toiselle toimijalle siirtääkseen riskin itseltään toisten vastuulle. Tämä huomio ei kuitenkaan vielä itsessään vastaa kysymyksiin enimmäismaksuhalukkuudesta. Vakuutusmarkkinoiden kannalta on oleellista tietää, kuinka paljon vakuutusten ostajat ovat valmiita maksamaan ja toisaalta yhtä tärkeää on myös tietää, millaiseen hintaan vakuuttajat suostuvat vakuutuksia myymään. Näihin kysymyksiin vastaaminen vaatii vakuutuksiin liittyvän teorian läpikäymistä.

2.1 Yksilön hyötyfunktio

Kuten hyvin tiedetään, niin markkinoilla on kaksi osapuolta: ostajat ja myyjät. Molempien käyttäytymistä mallinnetaan hieman eri tavoilla ja siksi ne myös käsitellään erikseen. Tässä työssä vakuutuksen ostajaa koskeva analyysi perustuu *odotetun hyödyn* teoriaan, ja siksi siihen on hyvä perehtyä hieman ennen sen soveltamista. Teoria perustuu hypoteesiin, jossa yksilöt tekevät valintapäätöksensä epävarmuutta sisältävien vaihtoehtojen välillä maksimoiden odotettua hyötyään. Odotettu hyöty on todennäköisyyksillä painotettu summa kaikkien vaihtoehtojen tuomista hyödyistä. Jotta odotettu hyöty voidaan laskea, on kunkin vaihtoehdon tuoman hyödyn oltava numeerinen lukuarvo. Täten hypoteesi olettaa, että on olemassa funktio, joka muuttaa vaihtoehdon numeeriseksi hyödyksi ja näitä hyötyjä voidaan vertailla keskenään. Von Neumann ja Morgenstern (1990, alunperin 1947) todistivat hypoteesin toimivan tiettyjen oletusten, aksioomien, vallitessa. He muodostivat hypoteesista odotetun hyödyn teoreeman, jonka mukaan tällainen hyötyfunktio

on olemassa.

Teoreeman lähtökohtana on systeemi U , johon kuuluvat mahdolliset vaihtoehdot $v, w, z \dots$, joiden välillä lopullinen päätös tehdään. Työn kontekstiin liittäen vaihtoehdot voivat olla mm. vakuutus sopimuksia tai varallisuuden tasoja. U :ssa olevia vaihtoehtoja voidaan yhdistää vaihtoehtoiksi, jotka sisältävät epävarmuutta. Esimerkiksi todennäköisyyksille ($0 < p < 1$) pätee $p \cdot v + (1 - p) \cdot w = z$, missä z on epävarmoista vaihtoehtoista v ja w muodostettu yhdistelmävaihtoehto. Tässä vaiheessa on hyvä mainita von Neumannin ja Morgensternin huomautus vaihtoehtojen tulkinnasta; vaihtoehdot eivät ole varsinaisesti numeroita, vaikka vaihtoehto voikin olla rahasumma. Havainnollistaen z voi olla arvonta, jossa vaihtoehto v on ”henkilö saa 10 euroa” ja w ”henkilö saa 0 euroa”. Vaihtoehto z on vain yhdistelmä näistä kahdesta eri vaihtoehdosta ja se on eri asia kuin arvannon laskennallinen odotusarvo. Jollekin henkilölle arvonta ja sen odotusarvoa vastaava varma rahamäärä voivat olla yhtä hyviä vaihtoehtoja, mutta myös siinä tapauksessa ne tulkitaan eri vaihtoehtoina.

Alla on lueteltu aksioomat, jotka vaaditaan odotetun hyödyn hypoteesin toteutumiseksi. Kolme ensimmäistä aksiomaa löytyy von Neumannin ja Morgensternin työstä, mutta neljäs aksioma, riippumattomuusoletus, esitetään nykyään usein eri tavalla kuin von Neumann ja Morgenstern alunperin sen esittivät. Neljäs aksioma on alunperin Samuelsonin (1952) idea ja Malinvaud (1952) antoi alla esitettyä vastaavan muodon aksiomalle.

A1 Täydellisysoletus: Kahdelle erilliselle vaihtoehdolle v ja w pätee vain yksi seuraavista relaatioista:

$$v \sim w, \quad v \prec w \quad \text{tai} \quad v \succ w$$

Ensimmäinen relaatio tarkoittaa, että vaihtoehdot ovat yhtä hyviä. Toisessa w on parempi kuin v ja viimeisessä toisin päin.

A2 Transitiivisuusoletus: Hyvin intuitiivinen oletus, jonka mukaan

$$v \succ w \text{ ja } w \succ z \implies v \succ z$$

Siis jos v on parempi vaihtoehto kuin w , ja w on parempi vaihtoehto kuin z , niin silloin myös v on parempi kuin z .

A3 Jatkuvuusoletus: On olemassa sellainen todennäköisyys p , jolle

$$v \prec z \prec w \implies p \cdot v + (1 - p) \cdot w \prec z$$

Käytännössä v :n ja w :n muodostama yhdistelmävaihtoehto on huonompi kuin z jollain riittävän suurella p , vaikka w on parempi kuin z . Välttämättä on olemassa myös sellaiset todennäköisyydet, joilla yhdistelmä on yhtä hyvä tai parempi kuin z .

A4 Riippumattomuusoletus: Jos $v \sim w$, niin kaikilla $z \in U$ ja $p \in (0, 1]$ pätee:

$$p \cdot v + (1 - p) \cdot z \sim p \cdot w + (1 - p) \cdot z$$

Sanallisesti kuvailtuna täysin riippumattoman vaihtoehdon ei pitäisi vaikuttaa kahden muun vaihtoehdon väliseen relaatioon.

Jos aksioomat pätevät, niin silloin von Neumannin ja Morgensterin (1990, (1947)) mukaan on olemassa sellainen kuvaus $u : U \rightarrow \mathbb{R}$, joka antaa kullekin vaihtoehdolle numeerisen hyödyn. Tämä kuvaus on yksilön hyötyfunktio ja se säilyttää vaihtoehtojen vertailtavuuden, eli se kuvaa paremmalle vaihtoehdolle aina suuremman numeerisen hyödyn:

$$v \succ w \implies u(v) > u(w)$$

Hyötyfunktion avulla voidaan laskea yksilön odotettu hyöty epävarmuutta sisältävistä vaihtoehdoista. Kuten aiemmin jo mainittiin, niin odotettu hyöty on todennäköisyyksillä painotettu summa yhdistelmän elementtien tuomista hyödyistä:

$$u(p \cdot v + (1 - p) \cdot w) = p \cdot u(v) + (1 - p) \cdot u(w) \quad (1)$$

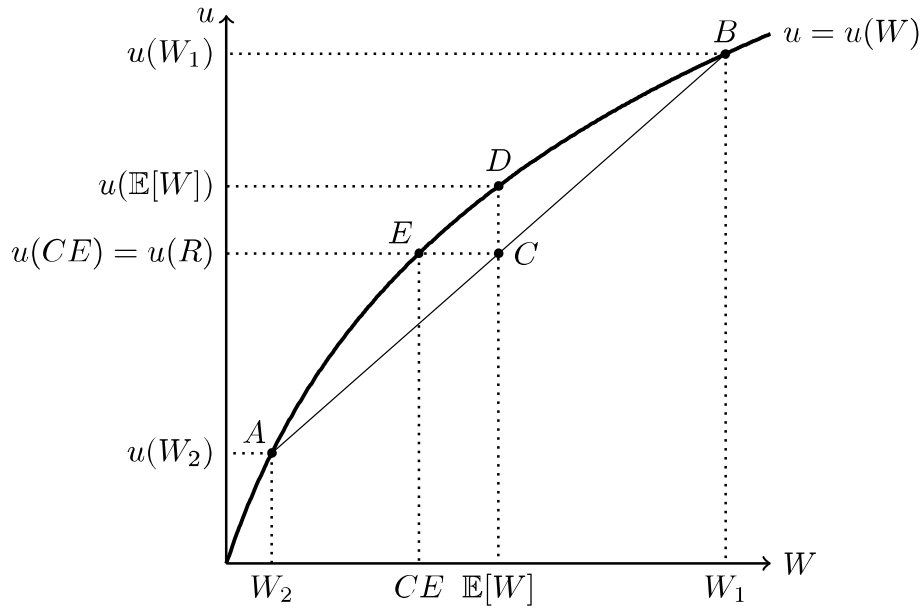
Lisäksi samat ominaisuudet säilyvät kaikille kuvauksille $k(x) = \alpha + \beta \cdot u(x)$, $\beta > 0$. Kuvaukselle u voidaan täten muodostaa äärettömän monta erilaista positiivista lineaarista muunnosta, joilla kuvausta voidaan skaalata ja siirtää tasossa.

Hyötyfunktion u olemassaolo määrittelee tietynlaisen rationaalisen käyttäytymisen. Rationaalinen henkilö tekee päätöksensä maksimoiden odotettua hyötyään. Tämän kaltaisesta rationaalisuudesta käytetään myös termiä *von Neumann-Morgenstern rationaalisuus*, eli *VNM-rationaalisuus* (mm. Rothschild ja Stiglitz, 1976). Hyötyfunktio on hyödyllinen myös vakuutusten analysoinnissa. Sillä jos vakuutuksen ostajan oletetaan olevan VNM-rationaalinen, niin silloin hän valitsee vakuutussopimuksen monen sopimuksen joukosta maksimoiden odotettua hyötyään. Koko tuleva analyysi tulee perustumaan tähän oletukseen.

2.2 Riski yksilölle

Hyötyfunktio antaa perustan vakuutusten olemassaololle ja tämä on helppoa ymmärää kuvan 1 avulla. Kuvaan on piirretty varallisuuden hyötyfunktio $u(W)$, jolla on ominaisuudet $u'(W) > 0$ ja $u''(W) < 0$ kaikilla varallisuuden tasoilla W . Ensimmäinen ominaisuus kertoo hyötyfunktion olevan (aidosti) kasvava, eli suurempi varallisuuden taso antaa yksilölle korkeamman hyödyn. Toisen ominaisuuden seurauksena varallisuudella on aleneva rajahyöty. Vähemmän teknisesti sanottuna varallisuuden kasvaessa lisävarallisuuden tuoma hyöty aina vain pienenee. Nämä ominaisuudet riittävät yleisellä tasolla tekemään esimerkiksi yksilöstä riskiaversiivisen eli riskiä kaihtavan. Riskiaversion asteeseen palataan vielä hieman myöhemmin.

Tässä yksinkertaisessa esimerkissä kuluttajalla on potentiaalinen uhkakuva, joka toteutuu todennäköisyydellä $p \in (0, 1)$ ja vastaavasti ei toteudu todennäköisyydellä $(1 - p)$. Jos uhkakuva ei toteudu, niin yksilön varallisuus on W_1 . Vastaavasti, jos vahinko tapahtuu, niin se on W_2 . Aiempaa notaatiota noudattaen uhkaa kuvaa vaihtoehto $R = (1 - p) \cdot W_1 + p \cdot W_2$ ja kaavan (1) perusteella uhkakuvan odotettu hyöty yksilölle on $u(R) = (1 - p) \cdot u(W_1) + p \cdot u(W_2)$. Hahmottamisen helpottamiseksi kuvassa piste A kuvaa vahinkoa vastaavan varallisuuden tason tuomaa hyötyä, B hyötyä ilman vahinkoa ja C vastaavasti odotettua hyötyä. C :n sijainti on (1):n perusteella jossain pisteitä A ja B yhdistävällä janalla riippuen p :n arvosta. Jos $p = 1$, niin silloin C on sama asia kuin A ja toisessa ääripäässä $p = 0$ piste C on sama piste kuin B .



Kuva 1: Riskipreemion määräytyminen mukailen Goolsbee et al. (2016, s. 559-561)

On tärkeää huomata, että vaikka henkilö saa odotusarvoisesti varallisuuden $\mathbb{E}[W]$, niin silti yksilön odotettu hyöty ei ole varsinaisella hyötykäyrällä vaan se on sen alapuolella kaikkialla muualla paitsi pisteissä A ja B . Tämä johtuu hyötyfunktion ominaisuudesta $u''(W) < 0$ ja havainto $u(\mathbb{E}[W]) \geq u(R)$ voidaan perustella Jensenin epäyhtälöllä. Havainto voidaan selittää myös intuitiivisesti: riskiä kaihtava henkilö ei pidä varallisuuden vaihtelusta, minkä vuoksi hän ei saa odotusarvoisesti varallisuudesta yhtä suurta hyötyä kuin odotusarvoa vastaavasta varmast varallisuuden tasosta. Jos henkilölle tarjottaisiin vaihtoehtoa, jossa hän hänen varallisuutensa taso olisi varmuudella $\mathbb{E}[W]$, niin silloin hänen hyötynsä voitaisiin lukea kuvan pisteen D kohdalta.

Kuvaa tarkastelemalla voi huomata, että on olemassa sellainen varma varallisuuden taso CE , joka antaa yksilölle yhtä suuren hyödyn kuin odotettu hyöty. Varallisuuden tasoa CE sanotaan *varmuusekvivalentiksi* (engl. *certainty equivalent*). Koska $u(CE) = u(R)$, niin henkilölle on samantekevää, saako hän varmuudella varallisuuden CE vai hyväksyykö hän uhkakuvan R , joka odotusarvoisesti tuo hänelle saman hyödyn. Tämä havainto on perustavaa laatua oleva ja motivoi vakuutuksen.

Esimerkin VNM-rationaalinen henkilö on valmis luopumaan osasta odotusarvoista varallisuuttaan, jotta hän ei joutuisi kokemaan varallisuuden tason vaihtelua. Luopumisvalmiuden määrä on erotus $RP = \mathbb{E}[W] - CE$, missä RP on henkilön *riskipremio*. Joku taho, jolle esimerkin riskin ottaminen ei ole epämieluisin vaihtoehto, voi hyödyntää yksilön riskipremiota ja myydä hänelle vakuutuksen. Yksinkertaisessa tapauksessa vakuuttaja lupaa ostajalle kiinteän summan varallisuutta tapahtui mitä tahansa. Tämä summa on vähintään yhtä suuri kuin CE ja teoriassa summalla ei ole ylärajaa, mutta vakuuttajan kannalta on järkevää, jos summa on pienempi kuin $\mathbb{E}[W]$. Nimittäin odotusarvoisesti vakuuttajan voitto on $\mathbb{E}[W] -$ ostajalle luvattu summa.

Yksilön päätöksentekoa epävarmuutta sisältävien vaihtoehtojen välillä voidaan analysoida myös (W_1, W_2) -tasossa indifferenssikäyrien avulla ja tätä menetelmää tullaan käyt-

tämään tämän luvun lopussa ja haitallisen valikoitumisen yhteydessä luvussa 3. Yksi indifferenssikäyrä on varallisuusparien joukko, joka antaa yksilölle saman hyödyn ja tietysti yksilö pyrkii valitsemaan toimintansa niin, että pääsee ylimmälle mahdolliselle indifferenssikäyrälle. Indifferenssikäyrän kulmakerrointa kussakin pisteessä kuvataan rajasubstituutioasteella MRS ja se voidaan johtaa asettamalla odotetulle hyödyille jokin vakioarvo $c \in \mathbb{R}$:

$$u(W_1, W_2) = (1-p) \cdot u(W_1) + p \cdot u(W_2) = c.$$

Yllä olevan lausekkeen kokonaisdifferentiaalinen on oltava nolla, jotta mielivaltaisten pienten muutosten ΔW_1 ja ΔW_2 jälkeen ollaan vielä samalla indifferenssikäyrällä:

$$\Delta u = \frac{\partial u(W_1, W_2)}{\partial W_1} \cdot \Delta W_1 + \frac{\partial u(W_1, W_2)}{\partial W_2} \cdot \Delta W_2 = 0,$$

josta ratkaisemalla muuttujien muutosten suhde saadaan rajasubstituutioaste MRS :

$$MRS := \frac{\Delta W_2}{\Delta W_1} = -\frac{1-p}{p} \cdot \frac{u'(W_1)}{u'(W_2)} \quad (2)$$

Kuvaan 1 liittyvä esimerkki, hyötyfunktio tai indifferenssikäyrä eivät vielä itsessään kerro yksilön riskinottohalukkuudesta paljoa. Yksilön riskinottohalukkuutta voidaan kuvata riskiaversion asteella. Aiemmin tuli jo ilmi, että riskiaversio tarkoittaa riskin kaihittamista. Tälle vastakohta on riskin etsijä. Jos yksilö ei ole riskiaversiivinen, eikä riskin etsijä, niin hän on riskincutraali. Tämä kategorinen jaottelu on selvä, mutta yksilöt voivat erota toisistaan myös kategorioiden sisällä ja tätä varten tarvitaan mitta. Pratt (1964) johti yksilön hyötyfunktioita hyödyntävän kaavan (3), jolla voidaan vertailla eri yksilöiden riskiaversion astetta lokaalisti.

$$ARA = r(x) = -\frac{u''(x)}{u'(x)} = -\frac{d}{dx} \log(u'(x)) \quad (3)$$

Suunnilleen samana aikakautena myös toinen ekonomisti Kenneth Arrow tutki riskiaversiota ja päätyi samanlaiseen tulokseen ja siksi yllä olevaan kaavaan viitataan nimellä *Arrow-Pratt measure of absolute risk-aversion (ARA)*.

Lokaalilla riskiaversiolla tarkoitetaan yksilön riskiaversiota päätemuuttujan, kuten varallisuus, tietyn pisteen mielivaltaisen pienessä ympäristössä. Vaikka kaava mittaa riskiaversiota vain yhden pisteen pienessä ympäristössä, niin myös tämän perusteella voidaan tehdä merkittäviä päätelmiä. Pratt näytti samassa yhteydessä, että jos kahdelle eri hyötyfunktiolle $u_1(x)$ ja $u_2(x)$ pätee jollain x : $r_1(x) > r_2(x)$, niin silloin $r_1(x) \geq r_2(x)$ pätee kaikilla x . Sama pätee myös, jos riskiaversiot korvataan riskipremioilla. Eli jos joku on valmis maksamaan korkeampaa preemiota jollain varallisuuden tasolla, niin on hän valmis maksamaan vähintään yhtä paljon preemiota kaikilla varallisuuden tasoilla. Riskiaversio ja riskipremio kulkevat samansuuntaisesti, eli mitä riskiaversiivisempi henkilö on kyseessä, sitä enemmän hän on valmis maksamaan esimerkiksi vakuutuksesta.

2.3 Riski vakuutusyhtiölle

Vakuutuksen myötä riski ei katoa minnekään, vaan se siirtyy vakuuttajalle, jolloin myös vakuuttajan riskiaversion tasolla on merkitystä. Siinä missä yksittäinen henkilö hankkii

yhden vakuutuksen kutakin riskiä kohti, niin vakuutusyhtiö voi myydä vastaavia vakuutuksia lukuisia. Jos vakuutusyhtiön myymät vakuutus sopimukset ovat toisistaan vain vähän riippuvia, niin silloin mitä suuremmalla todennäköisyydellä suuresta määrästä erillisiä riskejä osa toteutuu ja osa jää toteutumatta. Riskin toteutuminen on tietysti sattumaa, ja vakuuttaja ei voi tarkasti tietää lopullisten korvausvaatimusten määrää, mutta se voi yrittää arvioida sen odotusarvoa ja varianssia. Sanotaan, että vakuutusyhtiö on myynyt n kappaletta vakuutus sopimuksia ja sopimukselle i maksetaan satunnainen korvaus X_i riippuen maailmantilasta. Keskimääräisen vakuutus korvauksen \bar{X} odotusarvo on tällöin:

$$\mathbb{E}[\bar{X}] = \mathbb{E}\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right] = \frac{1}{n} \cdot \mathbb{E}\left[\sum_{i=1}^n X_i\right] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbb{E}[X_i]. \quad (4)$$

Jos kaikkien sopimusten korvausvaatimuksen varianssi on vakio $\sigma^2 < \infty$ ja vakuutus sopimusten välinen keskimääräinen korrelaatio on $\rho \in [0, 1]$, niin keskimääräisen vakuutus korvauksen \bar{X} varianssille voidaan johtaa kaava (ks. liite [A.1 Keskimääräisen vakuutus korvauksen varianssi](#)):

$$Var(\bar{X}) = \frac{\sigma^2 + (n-1)\rho\sigma^2}{n} \quad (5)$$

Yksinkertaistetussa maailmassa kaavan (4) perusteella vakuutusyhtiölle kohdistuvien korvausvaatimusten odotusarvo on aritmeettinen keskiarvo yksittäisten sopimusten odotusarvoista korvausvaatimuksista. Kaavasta (5) voidaan päätellä, että pienellä sopimusten välisellä korrelaatiolla keskimääräisen korvausvaatimuksen varianssi pienenee sopimusten määrän kasvaessa. Toisin sanoen vakuuttaja voi pienentää omaa riskiään hajauttamalla, eli hankkimalla uscita toisistaan riippumattomia vakuutettavia.

Pieni varianssi tarjoaa vakuutuksesta maksettavalle preemiolle luonnollisen rakenteen. Jos vakuutusyhtiö voi luottaa siihen, että toteutuva keskimääräinen korvausvaatimus on lähellä sen odotusarvoa, niin silloin se voi käyttää odotusarvoa hinnoittelun lähtökohtana. Premion ei ainakaan pitkässä juoksussa kannata olla alle odotusarvoisen korvausvaatimuksen, sillä silloin vakuuttaja joutuu todennäköisesti maksamaan enemmän korvauksia kuin se itse saa premiona takaisin. Toisaalta preemioiden tulisi kattaa myös kaikki hallinnolliset ja muut toimintaan liittyvät kiinteät kulut, jolloin käytännössä pitkällä aikavälillä premion tulisi olla suurempi kuin keskimääräinen korvausvaatimus. Premion P suuruutta voidaan siis kuvata yksinkertaistetusti:

$$P = \mathbb{E}[\bar{X}] + \epsilon, \quad (6)$$

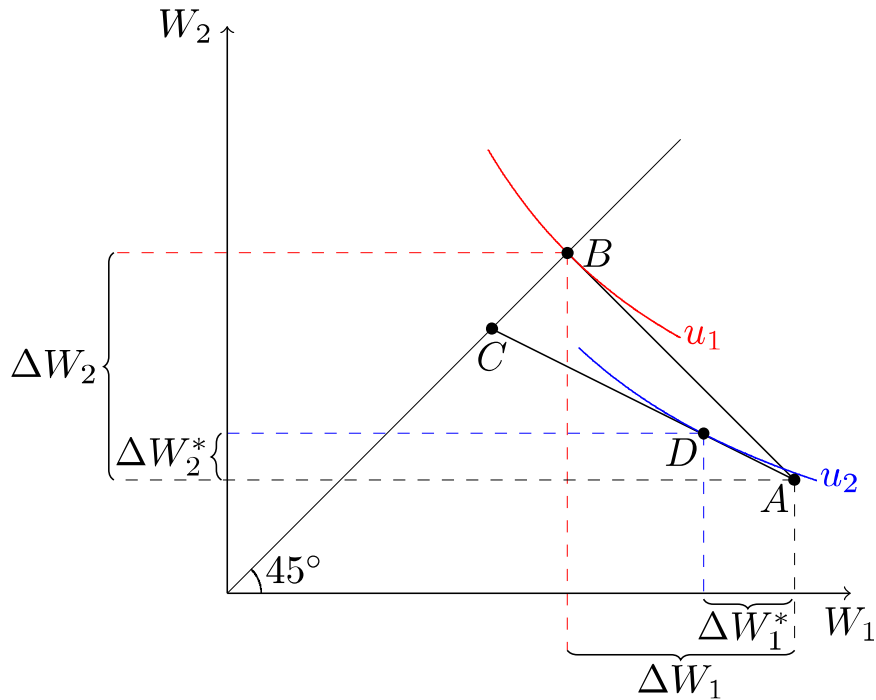
missä ϵ voi sisältää vakuutusyhtiön hallinnollisia kuluja, markkinavoimaa, korvausta otetusta riskistä ja niin edelleen.

2.4 Vakuutusmarkkinat

Edellisiä havaintoja yksilön ja vakuutusyhtiön riskinkäsittelystä voidaan soveltaa vakuutusmarkkinoiden mallintamiseen. Rothschild ja Stiglitz (1976) tarjoavat tähän yksinkertaisen kilpailullisten markkinoiden mallin, jossa vakuutusten ostajien oletetaan olevan riskiaversiivisiä ja VNM-rationaalisia odotetun hyödyn maksimoijia. Lisäksi heidän oletetaan olevan keskenään identtisiä riskitasoltaan ja käyttäytymiseltään. Jälkimmäinen oletus on

tehty yksinkertaistuksen vuoksi, ja tulosten kannalta on samantekevää olettaa asiakkaiden olevan etukäteen tunnistettavasti erilaisia. Tehdyn oletuksen vuoksi malli voidaan käydä läpi yhden markkinan avulla, kun erilaisilla asiakkailla markkina jakautuisi asiakastyyp-
pien mukaan täysin erillisiin alimarkkinoihin.

Mallissa markkinoiden on oletettu olevan siinä määrin kilpailulliset, etteivät myyjät voi periä suurempaa preemiota kuin keskimääräinen korvausvaatimus, jolloin vakuutus-
sopimukset ovat matemaattisesti reiluja. Tämä tarkoittaa, että kaavassa (6) termi $\epsilon = 0$. Samalle se tarkoittaa, että myyjät eivät voi tehdä odotusarvoisesti voittoa. Malliin voidaan kuitenkin lisätä skenaario, jossa myyjillä on esimerkiksi markkinavoimaa ja he voivat tar-
jota ostajalle matemaattisesti epäsuotuisia sopimuksia ($\epsilon > 0$) tehden itse odotusarvoisesti
voittoa.



Kuva 2: Vakuutusmarkkinat identtisillä asiakkailla pohjautuen (Rothschild ja Stiglitz, 1976)

Mallin idea selviää kuvan 2 avulla. Edeltä tuttuun tapaan yksilöllä ajatellaan olevan kaksi eri mahdollista varallisuuden tasoa riippuen vahingon tapahtumisesta. Kuva on piirretty (W_1, W_2) -tasoon, jossa W_1 kuvaa yksilön varallisuutta, jos vahinkoa ei tapahdu ja vastaavasti W_2 osoittaa yksilön varallisuuden vahingon tapahtuessa. Mahdollisten maailmantilojen määrä on rajoitettu kahteen yksinkertaistavista syistä. Oleellisesti samat havainnot voidaan tehdä jo kahdella maailmantilalla ilman turhaa matemaattisen notaation ja kuvion monimutkaistumista.

Alkutilanteessa yksilö on pisteessä A, jossa kuluttajan varallisuus on oletusarvoisesti suurempi, jos vahinkoa ei tapahdu. Markkinoilla on tarjolla vakuutuksia, joiden avulla yksilö voi siirtää varallisuuttaan riskin suhteen. Kilpailullisilla markkinoilla yksilölle tarjottavat vakuutukset ovat janalla AB. Vastaavasti tilanteessa, jossa myyjillä on markkinavoimaa, tarjolla olevat vakuutussopimukset ovat janalla AC. Jos yksilö päätyy osta-

maan vakuutuksen, niin hänen varallisuutensa siirtyy pisteestä A joko janalle AB tai AC riippuen markkinoiden kilpailullisuudesta. Ostaja ei voi itse vaikuttaa janojen kulmakertoimeen, mutta hänen oletetaan itse voivan valita haluamansa piste kulloinkin kyseessä olevalta janalta. Valinta määrittää vakuutuksen kattavuuden. Jos ostaja valitsee esimerkiksi pisteen B janalta AB , niin hän hankkii täyden vakuutuksen. Täysi vakuutus poistaa ostajalta kaiken riskin, sillä tällöin hänen varallisuutensa on sama maailmantilasta riippumatta. Tietysti hän voi valita pisteen myös jostain muusta kohtaa pisteen A ja B välistä mutta silloin hänen varallisuutensa vaihtelee maailmantilan mukana, joskin vaihtelu on pienempää kuin pisteessä A .

Aikaisemmin mainittiin jo lyhyesti indifferenssikäyrät, jotka johdetaan yksilön hyötyfunktioista. Kuvaan on piirretty kaksi vakuutusten ostajien indifferenssikäyrää, joista punainen u_1 kuvaa yksilön optimaalista valintaa kilpailullisilla markkinoilla ja sininen u_2 markkinoilla, joilla myyjillä on markkinavoimaa. Ne kuvastavat optimaalista valintaa siksi, että ne ovat ylimmät mahdolliset indifferenssikäyrät, jotka ovat kuluttajan saavutettavissa kyseessä olevilla markkinoilla. Ostaja ei voi päästä enää yhtään ylemmälle käyrälle, sillä markkinoilla ei ole tarjolla sellaista vakuutus sopimusta, joka olisi kummankaan indifferenssikäyrän yläpuolella. Vastaavasti jos käyrät olisivat yhtään alempana, niin yksilö voisi saada vielä korkeamman hyödyn valitsemalla toisen sopimuksen aina siihen saakka, kunnes indifferenssikäyrä sivuaa sopimusjanaa.

Reilujen vakuutus sopimusten markkinoilla nähdään, että punaisen indifferenssikäyrän u_1 ja janan AB leikkauspiste B on suoralla, jolla varallisuuden arvot W_1 ja W_2 ovat yhtä suuret, eli ostaja hankkii täyden vakuutuksen. Epäsuotuisten sopimusten kohdalla huomataan, ettei indifferenssikäyrä voi mitenkään olla tangentiaalinen janan AC kanssa pisteen C kohdalla, joka kuvaa niin ikään täyden vakuutuksen hankkimista. Tällaisella markkinalla ostajien hankkimat vakuutukset eivät siis ole täysiä vakuutuksia. Sen sijaan u_2 on tangentiaalinen janan AC kanssa pisteessä D , jossa yksilön valitsema sopimus ei ole täysi vakuutus. Havainto ei ole sattumaa, vaan Mossin (1968) näytti formaalisti, että riskiaversiivinen henkilö ei hanki täyttä vakuutusta, ellei tarjottava vakuutus ole matemaattisesti reilu. Tämän työn laajuus huomioon ottaen havainto voidaan perustella hieman yksinkertaisemmin vertaamalla vakuutus sopimuksia kuvaavien janojen ja indifferenssikäyrien kulmakertoimia niiden sivuamispisteissä.

Sivuamispisteessä janan ja indifferenssikäyrän kulmakertoimen on oltava yhtä suuria, jotta ne sivuaisivat toisiaan. Janojen suuntaisen suoran kulmakerroin voidaan määrittää alkutilanteen ja vakuutuksen hankkimisen jälkeisen varallisuuden perusteella. Jos henkilö ostaa vakuutuksen, niin alkutilaan A nähden henkilön varallisuus muuttuu vakuutuksesta maksettavan premion vuoksi ΔW_1 (tai ΔW_1^* ei-kilpailullisilla markkinoilla) tapahtui vahinkoa tai ei. Vahingon sattuessa ostaja maksaa edelleen premion mutta saa vahingosta myös korvauksen, joka kasvattaa henkilön varallisuutta tässä maailmantilassa vakuutuksesta tilaan nähden. Merkitään tätä varallisuuden muutosta ΔW_2 :lla kilpailullisilla markkinoilla ja ΔW_2^* :lla ei-kilpailullisilla markkinoilla. Odotusarvoinen varallisuuden muutos ϵ on todennäköisyyksillä painotettu varallisuuksien muutosten summa. Muodostuneesta yhtälöstä voidaan ratkaista sopimusvektoreiden suuntaisen suoran kulmakerroin seuraavasti:

$$(1-p) \cdot \Delta W_1 + p \cdot \Delta W_2 = \epsilon \iff \frac{\Delta W_2}{\Delta W_1} = -\frac{1-p}{p} + d \quad || \quad d := \frac{\epsilon}{p \cdot \Delta W_1} \geq 0 \quad (7)$$

Kilpailullisten markkinoiden tapauksessa vakio $d=0$, sillä $\epsilon=0$. Silloin indifferenssikäyrä u_1 voi olla tangentiaalinen janan AB kanssa vain, jos leikkauspisteessä $W_1 = W_2$. Väite perustuu kaavaan (2), missä rajasubstituutioaste $MRS = -(1-p)/p$ vain, jos $W_1 = W_2$.

Matemaattisesti epäreilujen sopimusten tapaksessa $d > 0$, sillä $\epsilon < 0$ ja $\Delta W_1 < 0$. Täten jana AC on loivempi kuin AB . Tämä tarkoittaa, että sivuamispisteessä kaavassa (2) termin $u'(W_1)/u'(W_2)$ on oltava pienempää kuin 1. Alenevan rajahyödyn perusteella näin on, jos $W_1 > W_2$. Tässä tapauksessa hankittu vakuutus ei ole täysi vakuutus. Voidaan siis päätellä, että VNM-rationaalinen henkilö hankkii täyden vakuutuksen vain siinä tapauksessa, että hänelle tarjottava vakuutus sopimus on matemaattisesti reilu. Muussa tapauksessa hän hankkii vain osittaisen vakuutuksen.

Tässä luvussa opittiin paljon vakuutuksien taustalla olevasta teoriasta. Vakuutuksille syntyy tarve riskiaversiivisten yksilöiden seurauksena, sillä heille epävarmuus tuo hyödyn alentumaa ja siksi he ovat valmiita maksamaan riskin vähentämisestä. Toisaalta markkinoilla voi olla toimijoita, joille riskin ottaminen ei ole huono vaihtoehto, tai heillä on mahdollisuus suorittaa riskien hajauttamista siinä määrin, että taloudellinen riski jää pieneksi. Nämä toimijat toimivat vakuutusten myyjinä, ja yhdessä riskiaversiivisten vakuutusten hankkijoiden kanssa he muodostavat vakuutusmarkkinat.

3 Haitallinen valikoituminen

Tämän luvun tarkoituksena on selvittää mitä tarkoittaa *haitallinen valikoituminen*, mistä se johtuu ja miten se vaikuttaa vakuutusmarkkinoihin. Ensin hankitaan ymmärrys ja pohja ilmiölle, minkä jälkeen ilmiö liitetään edellisen luvun kaltaisiin kilpailullisiin vakuutusmarkkinoihin. Lisäksi osion lopussa pohditaan keinoja, joilla vakuuttaja voi mahdollisesti ehkäistä haitallisen valikoitumisen syntymistä.

3.1 Määritelmä

Akerlof (1970) esitteli haitallisen valikoitumisen käsitteen automarkkinaesimerkin avulla. Se on intuitiivinen, ja ilmiön pääpiirteet selviävät sen avulla helposti. Esimerkin markkinoilla on sekä hyviä että huonoja autoja. Tietenkään ostaja ei ole halukas maksamaan huonosta autosta hyvän auton hintaa, mutta ongelmana on, että ostaja ei tiedä etukäteen auton laatua. Ongelmasta johtuen autojen on oltava samanhintaisia todellisesta laadusta riippumatta. Hinta voi olla riittämätön hyvien autojen myyjille, jolloin he jättävät autonsa myymättä. Tämän pohjalta ei ole vaikeaa nähdä tilannetta, jossa markkinoille jäisi vain huonojen autojen myyjät. Laatuluokittelun ei välttämättä tarvitse olla kaksipuolinen, vaan sama ilmiö voi syntyä myös jatkuvammalla laatuluokittelulla: Ensin kaikkein parhaimpien autojen myyjät päättävät poistua markkinoilta, jolloin autojen keskimääräinen laatu laskee. Keskimääräisen laadun alentumisen seurauksena ostaja saa odotusarvoisesti hieman huonomman auton, mikä näkyy alentuneena maksuhalukkuutena. Muutoksen seurauksena markkinoilta poistuvat jälleen ne myyjät, joille hinnan lasku oli liikaa. Samaa

tarinaa voi jatkaa, kunnes markkinoilla ei ole enää kuin korkeintaan yksittäisiä myyjiä. Esimerkissä haitallinen valikoituminen ilmenee siis markkinoiden purkautumisena.

Autoesimerkissä ostajilla oli vähemmän tietoa kuin myyjillä, mutta tilanne voi olla myös toisin päin. Samassa artikkelissa Akerlof liitti haitallisen valikoitumisen myös sairausvakuutuksiin, joissa ostajilla voi olla enemmän tietoa kuin vakuutuksen myyjällä. Näennäisesti terve henkilö voi tietää jotain omaan sairastumisalttiuteen liittyvää oleellista tietoa, jota hän ei kerro vakuuttajalle. Tämänkaltainen tieto aiheuttaa vakuutuksen ostajan ja myyjän välille epäsymmetrisen informaation, eikä vakuuttaja voi etukäteen tietää varmaksi asiakkaan riskitasoa ja asettaa sitä vastaavaa hintaa. Lienee turvallista olettaa, että jos vakuutusyhtiöllä on jollain hinnalla asiakkaita, niin näiden asiakkaiden joukko sisältää kaikki korkeariskiset asiakkaat. Hehän tulevat lähtökohtaisesti todennäköisimmin hyötymään vakuutuksen hankkimisesta eniten. Tämän tiedon valossa vakuuttaja joutuu asettamaan vakuutuksella hinnan, joka kattaa korkean riskin asiakkaista seuraavat odotusarvoiset korvauskulut. Korkean hinnan seurauksena edellisestä asiakasjoukosta alimman riskitason asiakkaat jättäytyvät pois, sillä hinta ei vastaa enää vakuutuksesta saatavaa hyötyä, jolloin asiakaskunnan keskimääräinen riskitaso kasvaa. Aivan samalla tavalla kuin automarkkinoiden kohdalla, niin myös tässä esimerkissä voi syntyä ketjureaktio, jossa keskimääräinen riskitaso jatkaa kasvuaan aina hinnan noustessa. Lopulta vakuutuksia ei voida myydä juuri kenellekään ja jos myydään, niin vakuutukset ovat kalliita.

Akerlofin (1970) työn perusteella haitallinen valikoituminen voidaan ymmärtää markkinoiden tyhjentymiseksi tai purkautumiseksi, joka aiheutuu ostajan ja myyjän välillä valitsevasta epäsymmetrisestä informaatiosta. Rothschildin ja Stiglitzin (1976) mukaan korkeariskiset asiakkaat luovat vakuutusmarkkinoilla negatiivisen ulkoisvaikutuksen, minkä vuoksi markkinoilla kaikkien muiden hyvinvointi on huonompi kuin se olisi ilman korkean riskin asiakkaita. Erityisen ikävää on, että edes korkean riskitason asiakkaat eivät lopulta hyödy tästä ulkoisvaikutuksesta, sillä vakuutuksen hinta tulee olemaan korkea, kun markkinoilla on jäljellä vain korkeariskiset tapaukset.

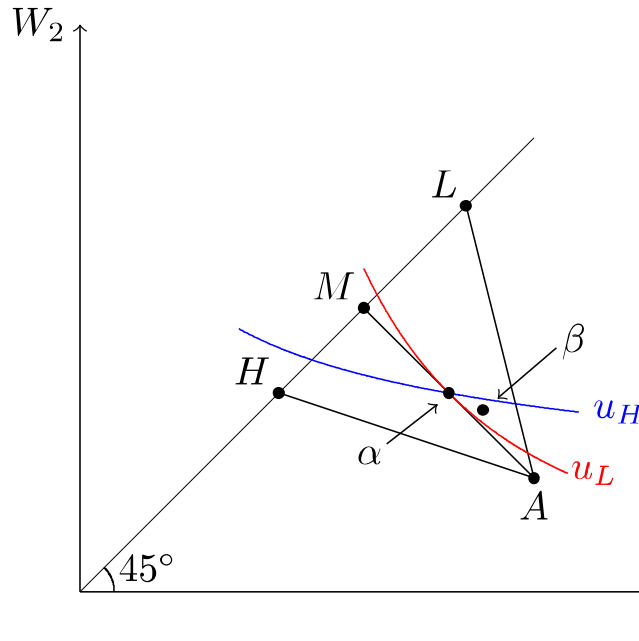
3.2 Haitallinen valikoituminen ja markkinatasapaino

Edellisen perusteella epäsymmetrisen informaation, ja sitä kautta syntyvän haitallisen valikoitumisen seurauksena markkinoilta poistuu sellaisia vakuutuksen ostajia, jotka olisivat halukkaita ostamaan vakuutuksen mutta ilmiön seurauksena heille ei voida aina tarjota sopivaa vakuutusta. Tässä osiossa on tarkoitus havainnollistaa Rothschildin ja Stiglitzin (1976) mallin avulla, että tietyissä olosuhteissa on ainakin teoriassa mahdollista, ettei kilpailullisilla vakuutusmarkkinoilla ole tasapainoa. Heidän käyttämässään markkinatasapainon määritelmässä kaikki myydyt sopimukset tekevät odotusarvoisesti nollatulosta, eikä tasapainossa myytävien sopimusten lisäksi ole olemassa sellaista sopimusta, jonka tuotto olisi odotusarvoisesti ei-negatiivinen. Lisäksi mallia on rajoitettu niin, ettei kukaan voi ostaa enempää kuin yhden vakuutuksen.

Kuten aikaisemmin, niin myös tässä vakuutuksen ostajien oletetaan olevan VNM-rationaalisia odotetun hyödyn maksimoijia. Jälleen yksinkertaistuksen vuoksi vakuutuksen ostaja välttyy tai ei vältty vahingolta. Ensimmäistä tilaa vastaavaa varallisuutta kuvaa muuttuja W_1 ja vastaavasti W_2 jälkimmäistä. Nyt markkinoilla on kahden tyyppisiä asiak-

kaita, korkean (θ_H) ja matalan (θ_L) riskitason asiakkaita. Korkean riskitason asiakkaalla vahinko tapahtuu todennäköisyydellä p_H ja matalan riskitason asiakkaalla p_L . Oletusarvoisesti korkean riskitason asiakkaan vahingon todennäköisyys on suurempi kuin matalan riskitason asiakkaan, joten $p_H > p_L$. Eri riskitasoista johtuen ostajilla on myös erilaiset hyötyfunktiot, sillä odotettu hyöty riippuu myös todennäköisyyksistä kaavan (1) perusteella.

Markkinoille voi kuvitella kolmea erilaista lopputulosta: molemmille asiakastyypeille tarjotaan samanlaisia sopimuksia, asiakastyypeille on omat sopimuksensa tai kenellekään ei ole minkäänlaista sopimusta. Kuva 3 osoittaa graafisesti, ettei vaihtoehtoista ensimmäinen ole mahdollinen. Siinä piste A osoittaa molempien asiakastyypien varallisuuden ilman vakuutusta. Janoilla AH ja AL ovat kaikki ne sopimukset, joiden preemiot vastaavat korkeaa ja matalaa riskitasoa tässä järjestyksessä ja ovat matemaattisesti reiluja oikealle asiakkaalle myytyinä. Janalla AM olevat sopimukset tuottavat myyjälle odotusarvoisen nollatuloksen, jos janalla olevan sopimuksen ostavat kaikki markkinan asiakkaat. Toisin sanoen nämä sopimukset vastaavat markkinan keskimääräistä riskitasoa. Selvästi AM on janojen AH ja AL välissä mutta sen tarkka sijainti riippuu todennäköisyyksistä p_L ja p_H , sekä asiakastyypien θ_L ja θ_H suhteellisista osuuksista markkinoilla. Tasapainossa myytävien kaikille yhteisten sopimusten on oltava janalla AM , sillä missä tahansa muualla oleva yhteinen sopimus tuottaa odotusarvoisesti joko voittoa tai tappiota.

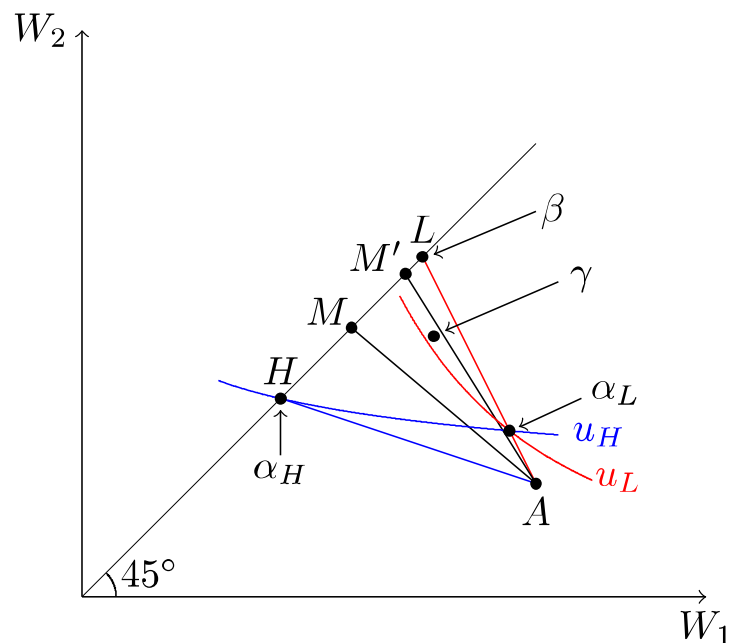


Kuva 3: Yhteinen sopimus erityyppisille asiakkaille (Rothschild ja Stiglitz, 1976)

Sanotaan, että joku vakuuttaja tarjoaa sopimusta α janalla AM . Molemmat asiakastyypit valitsevat α :n mieluummin kuin pisteen A , sillä molempien asiakastyypien indifferenssikäyrät ovat pisteen A yläpuolella. Jos näin ei olisi, ei silloin triviaalisti olisi mahdollista myydä kaikille yhteistä sopimusta. Oli sopimus α missä tahansa kohtaa janaa AM , niin asiakastyypien indifferenssikäyrät leikkaavat toisensa pisteessä α . Tämän voi perustella muun muassa kaavan (2) avulla. Vahinkotodennäköisyyksien ollessa erit, ovat myös

asiakastyypin indifferenssikäyrien rajasubstituutioasteet erit, jolloin käyrät leikkaavat väistämättä tässä pisteessä. Koska käyrät leikkaavat, niin jossain niiden välissä lähellä sopimusta α on sopimus β , jota vain matalan riskitason asiakkaat suosivat. Jos β on janan AL alapuolella, niin silloin β tekee odotusarvoisesti voittoa matalariskisten hankkiessa β :n, mikä rikkoo tasapainon määritelmän jälkimmäistä osaa. Edellä olevan perusteella ei ole olemassa sellaista yhteistä sopimusta, joka täyttäisi Rothschildin ja Stiglitzin (1976) asettamat markkinatasapainon ehdot.

Jäljelle jää vain vaihtoehdot, joissa tasapainossa molemmille asiakastyypeille kohdennetaan omat sopimuksensa tai kenellekään ei myydä mitään. Erillisten sopimusten mahdollista tasapainoa voidaan analysoida graafisesti Rothschildin ja Stiglitzin (1976) mallin mukaisesti vastaavaan tapaan kuin yhteistä vakuutus sopimusta. Myös kuvassa 4 janoilla AH , AL ja AM on kuvattu mahdollisia sopimuksia, jotka vastaaville korkean, matalan ja keskimääräisen riskitason asiakkaalle myytyinä tuottavat odotusarvoisesti nollatuloksen. Koska tasapainossa yksikään sopimus ei saa tehdä odotusarvoisesti tappiota, niin tämän vuoksi sekä korkean että matalan riskitason asiakkaalle tarkoitettujen sopimusten on oltava janoilla AH ja AL . Edeltä identtisten tai ulkoisesti tunnistettavien asiakkaiden markkinoilta (kuva 2) muistetaan, että ostajan kannalta matemaattisesti reilu vakuutus sopimus johtaa täyden vakuutuksen hankkimiseen. Tällöin korkean riskitason asiakkaat valitsisivat pisteessä H olevan vakuutus sopimuksen α_H ja matalan riskitason asiakkaat valitsisivat pisteessä L olevan sopimuksen β .



Kuva 4: Erilliset sopimukset erityyppisille asiakkaille (Rothschild ja Stiglitz, 1976)

Oletuksena vakuutuksen myyjällä ei ole kykyä erottaa yksittäisiä asiakkaita toisistaan, minkä vuoksi matalan riskitason sopimus ei voi olla tasapainossa pisteessä L , koska korkean riskitason asiakkaat suosisivat sopimusta β yli α_H :n. Tasapainossa tarjottavien sopimusten on oltava sellaisia, jotka saavat asiakkaat valikoimaan juuri heille tarkoitettua sopimusta. Toisin sanoen matalan riskitason asiakkaalle tarkoitettu sopimus ei saa hou-

kutella korkean riskitason asiakkaita ja toisaalta korkeaa riskitasoa vastaava sopimus ei saa houkuttaa matalan riskitason asiakkaita, jotta myyjä ei tekisi odotusarvoisesti voittoa/tappiota. Paras mahdollinen matalan riskitason sopimus α_L on käyrän u_H ja janan AL leikkauspisteessä. Tarkalleen ottaen se on mielivaltaisen vähän leikkauspisteen alapuolella janalla AL , jotta korkean riskitason asiakkaat eivät varmasti valitse sitä. Ainoa mahdollinen erillisten sopimusten tasapaino on siis sopimuspari (α_H, α_L) , sillä jos sopimukset olisivat alempana janoilla AH ja AL , niin silloin olisi mahdollista tarjota korkeammalla oleva sopimus, joka tekee ei-negatiivista tuottoa.

Rothschildin ja Stiglitzin (1976) mielenkiintoinen havainto oli, että markkinalla ei ole aina tasapainoa. Kuvassa 4 oleva sopimus γ on korkeammalla kuin kumpikaan indifferenssikäyrä, jolloin molemmat asiakastyypit valitsevat tämän sopimuksen, jos sitä joku päättää tarjota. Jos γ tuottaisi voittoa, niin silloin se estäisi edellä esitellyn ainoan mahdollisen erillisten sopimusten tasapainon (α_H, α_L) olemassaolon, sillä tasapainossa tarjottavien sopimusten lisäksi ei saanut olla odotusarvoisesti ei-negatiivista tuottoa tekeviä sopimuksia. Tässä tapauksessa γ on ylempänä kuin jana AM , jolloin se odotusarvoisesti tekee tappiota kaikkien ostaessa sen ja (α_H, α_L) voi olla tasapaino. Silti tietyissä olosuhteissa γ voi tehdä voittoa. Kuvitellaan tilanne, jossa markkinalla on suhteessa vähän korkean riskitason asiakkaita, ja siksi keskimääräistä riskiä vastaavat sopimukset ovat janalla AM' . Jos γ on janan AM' alapuolella ja molempien indifferenssikäyrien yläpuolella, niin silloin γ tekee voittoa ja syrjäyttää mahdollisen tasapainon (α_H, α_L) . Kuitenkin γ on yhteinen sopimus ja tekee voittoa, joten yhteinen sopimus γ ei ole myöskään tasapaino. Tällaisessa tapauksessa on siis teoriassa mahdollista, ettei markkinoilla ole lainkaan tasapainoa. Havainto on merkittävä ja näyttää, että haitallinen valikoituminen voi todella olla suuri ongelma vakuutusmarkkinoille.

3.3 Keinoja haitallisen valikoitumisen estämiseksi

Edellisissä osioissa tuotiin esille ainakin teoreettinen mahdollisuus vakuutusmarkkinoiden tasapainottomuudelle haitallisen valikoitumisen seurauksena. Tasapainottomuus markkinoilla kuulostaa huolestuttavalta ja ensimmäisenä monelle voi tulla mieleen, olisiko olemassa keinoja estää edes tätä teoreettista mahdollisuutta vakuutuksen myyjänä tai ostajana.

Mahdollisesti kaikkein intuitiivisin ratkaisuehdotus on pakottaa kaikkia hankkimaan vakuutus, sillä jos kaikkien on pakko hankkia vakuutus, niin silloin koko ongelmaa ei pääse syntymään. Nimittäin jos myös matalan riskitason asiakkaat hankkivat vakuutuksen, niin vakuutusten myyjät voivat periä markkinan keskimääräistä riskitasoa vastaavan preemion ilman, että markkinoille jää vain korkean riskitason asiakkaita. Pakottaminen on aina radikaali keino, mutta sitä on käytetty haitallisen valikoitumisen estämiseen jo pitkään. Esimerkiksi Borch (1990, s. 324) kertoo, että joissain Sveitsin kantooneissa on ollut ainakin joskus pakko hankkia vakuutus suojaamaan rakennuksia lumivyöryjen aiheuttamilta vahingoilta. Vakuutuspakkoa ei tarvitse välttämättä etsiä kaukaa, vaan myös Suomessa on kaikille pakollisia vakuutuksia, kuten jokaiselle autoilijalle pakollinen tieliikennevakuutus. Lisäesimerkki hyvin merkittävästä vakuutuspakosta on Yhdysvalloissa oleva *Affordable Care Act*, eli tutummin *Obamacare*. Goolsbee et al. (2016, s. 626) esittävät Obamacaren taustalla olevan taloustieteen perustuvan juuri haitallisen valikoitumisen estämiseen. Laki

toisaalta käskee vakuutusyhtiöitä myymään kaikille sairausvakuutuksen, mutta samalla se myös pakottaa kaikkia hankkimaan vakuutuksen. Keinona vakuutuspakko poistaa haitallisen valikoitumisen kokonaan, mutta sitä ei voida kuitenkaan käyttää kaikkiin mahdollisiin vakuutuksiin, sillä on erittäin hankala nähdä tilannetta, jossa esimerkiksi kaikkia suomalaisia pakotettaisiin hankkimaan vakuutus puhelimen hajoamiselle tai jollekin muulle vähäpätöiselle asialle. Pakottamista voidaan siis käyttää vain silloin, kun on todella tavoiteltavaa, että kaikilla on vakuutus (Borch, 1990, s. 324).

Toinen keino estää haitallista valikoitumista on olla myymättä vakuutusta tietyille henkilöille perustuen johonkin asiakkaan ominaisuuteen. Voi olla mahdollista, ettei vakuutuksen myyjä pysty suoraan ulkoisesti sanomaan kustakin henkilöstä tämän riskitasoa, mutta se voi tietää esimerkiksi iällä olevan vaikutusta keskimääräiseen riskitasoon. Tästä esimerkkinä Akerlof (1970) esitti yleisenä faktana, että vanhoille ihmisille ei myönnetä sairausvakuutuksia. Myyjät pelkäävät vanhan ihmisen tarvitsevan vakuutusta todennäköisemmin kuin nuoren asiakkaan, ja eivät siksi halua myydä vakuutusta näille. Jos myyjän oletama pitää paikkaansa, niin silloin keskimääräisen asiakkaan riskitaso on alempi vakuutusten eväämisen seurauksena kuin se olisi ilman eväämistä. Alemman keskimääräisen riskitason seurauksena vakuutuksia voidaan myydä hinnalla, jonka matalan riskitason asiakkaat hyväksyvät ja haitallista valikoitumista ei pääse syntymään. Keinon eettisyydestä voi olla kuitenkin montaa mieltä, ja esimerkiksi edellä mainitun Obamacaren yhtenä tavoitteena on mahdollistaa kaikille kohtuuhintainen sairausvakuutus estämällä vakuutusten evääminen tietyitä henkilöiltä.

Vakuutuksen eväämistä huomattavasti lievempi keino on hinnoittelu ulkoisten riskitekijöiden mukaan, mitä kutsutaan termillä *screening* (esim. Goolsbee et al., 2016, s. 625). Tieliikennevakuutusta hankkiessa on ilmoitettava muun muassa auton malli, moottorin koko ja lukuisia muita autoon liittyviä tekijöitä. Kaikki hintaan vaikuttavat tekijät eivät tietysti liity autoon, vaan myös esimerkiksi paikkakunnalla ja kuljettajan omalla vahinkohistorialla on merkitystä. Riskitekijöitä ei tarvitse välttämättä rajoittaa kaikkein ilmeisimpiin, vaan Goolsbee et al. (2016) antavat epäsuorasta indikaattorista esimerkkinä opintomenestyksen, joka historiallisen datan perusteella näyttäisi alentavan riskialttiutta liikenteessä. He toteavat myös, että vakuutusyhtiön kannattaa hankkia mahdollisimman paljon tekijöitä, joilla arvioida asiakkaan riskitasoa. Teoriassa asia on näin, mutta ensinnä käytännössä suuren määrän dataa hankkiminen voi olla kallista ja toiseksi suuri määrä muuttujia voi tehdä riskitason tilastollisesta analyysistä epäluotettavaa tai mahdotonta, sillä kukin asiakassegmentti voi sisältää hyvin vähän asiakasmassaa (Borch, 1990, s. 297). Jokaiselle asiakkaalle ei siis voi räätälöidä omaa hintaa, ainakaan tarkasti, mutta screening auttaa riskitodennäköisyyksien arvioimisessa.

Myös edellä esitelty Rothschildin ja Stiglitzin (1976) malli sisälsi yhden tavan estää haitallista valikoitumista, joskaan se ei aina tuottanut markkinatasapainoa. Vakuutusso-
pimukset voidaan yrittää suunnitella niin, että asiakkaat itsevalikoituvasti valitsevat heille tarkoitetun sopimuksen samalla paljastaen oman riskitasonsa. Jos vaihtoehdot on asetettu oikein, eli kunkin riskitason asiakas saa korkeimman odotetun hyödyn hänelle tarkoitetusta sopimuksesta, niin tulisi vakuutuksen myyjän pystyä päättämään asiakkaan riskitaso. Tämä vaatii tietysti, että ostaja on VNM-rationaalinen ja maksimoi omaa odotettua hyötyään!

Myös asiakas itse voi vähentää haitallisen valikoitumisen ongelmaa antamalla myyjälle signaaleja omasta riskitasostaan, mistä tietyn sopimuksen valinta on yksi esimerkki (Borch, 1990, s. 322). Matalan riskitason luotettavassa signaloinnissa on sellainen etu, että hänelle voidaan myydä täysi vakuutus, mitä ei voitu tehdä Rothschildin ja Stiglitzin (1976) mallissa korkean riskitason asiakkaiden vuoksi. Asiakkaan mahdollisuudet vaikuttaa haitalliseen valikoitumiseen signaalien avulla ovat kuitenkin rajalliset, sillä mikään ei estä asiakkaita bluffaamasta myyjää antamalla tarkoituksenmukaisesti väärää signaalia omasta riskitasosta. Jos annetun signaalin luotettavuudesta ei ole varmuutta, niin silloin ongelmasta tulee peliteoreettinen ja siihen ei tässä syvennytä, vaikka aihe mielenkiintoinen onkin. Ongelman mallintamisesta voi kuitenkin saada idean seuraavan luvun valvontapelistä, joka käsittelee hieman eri ongelmaa.

Selvennykseksi vielä, että signalointi ei ole Borchin idea, vaan alunperin Spence (1973) toi termin esiin yhteydessä, jossa työntekijä voisi yrittää vakuuttaa työnantajan omasta tehokkuudestaan koulutuksen avulla. Koulutuksen hankkiminen on oletettavasti vaivattomampaa ahkeralle ja tehokkaalle henkilölle kuin laiskalle ja tuottamattomalle, ja siksi jälkimmäinen henkilö ei hanki koulutusta yhtä todennäköisesti kuin ensimmäinen. Ero kunkin ryhmän kustannuksissa hankkia koulutus voisi mallin mukaan ennustaa parempaa tuottavuutta myös tapauksessa, jossa koulutuksella ei hypoteettisesti olisi mitään muuta hyötyä kyseessä olevaan työhön. Vastaavalla tavalla vakuutusten yhteydessä matalan riskitason asiakkaalle on edullisempaa valita matalan riskitason asiakkaalle tarkoitettu sopimus kuin korkean riskitason asiakkaalle, sillä hänelle siitä ei koidu hyötytappioita. Juuri tästä syystä vakuuttajalla voi olla syy olettaa, että matalan riskitason sopimuksen valinnut henkilö todella on matalan riskitason asiakas, joskaan vakuuttaja ei voi olla varma signaalin oikeellisuudesta.

Viimeisimpänä keinona esitellään järjestelmät, joissa vakuutuksen hinta perustuu asiakkaan vahinkohistoriaan. Arkielämän kokemuksen mukaan Suomessa esimerkiksi autovakuutuksissa on mahdollista kerryttää niin kutsuttuja bonuksia, joilla vakuutuksen hintaa voi alentaa. Bonuksia kertyy, kun vakuutuksen ostajalle ei tapahdu vahinkoja ja käänteisesti vahinkojen sattuessa bonustaso alenee nostaen vakuutuksen hintaa. Ajan kanssa jokaiselle löytyy suunnilleen omaa riskitasoa vastaava bonustaso, jolla kaikkien kannattaa hankkia vakuutus (Borch, 1990, s. 299-300,317)

4 Moraalikato

Haitallisen valikoitumisen ohella toinen vakuutuksiin oleellisesti liittyvä epäsymmetrisestä informaatiosta johtuva ilmiö on moraalikato. Samoin kuin haitallisenkin valikoitumisen kohdalla, niin myös moraalikadon kohdalla, tässä luvussa on tarkoitus ymmärtää mitä moraalikato oikeastaan on, mistä se johtuu ja voiko sitä estää jotenkin.

4.1 Ilmiö lyhyesti

Moraalikatoa voi luonnehtia monella tavalla, mutta kaikille tavoille yhteistä on epäsymmetrisen informaation läsnäolo. Esimerkiksi Stiglitz (1983) toteaa moraalikadon ilmenevän tilanteissa, jossa vakuuttaja ei voi varmistua vakuutuksen ostajan toimivan odotetulla ta-

valla. Vakuuttaja voi esimerkiksi odottaa ostajan välttävän vahinkoa kykyjensä mukaan, ja jopa asettaa sopimukseen ehtoja, joilla vähennetään vahingon todennäköisyyttä. Loppujen lopuksi myyjä ei kuitenkaan välttämättä tiedä, toimiko ostaja tällä tavalla. Vakuutuksen ostaja vastaavasti tietää useimmiten oman toimintansa, mutta tämä tieto ei yleensä siirry vakuuttajalle ilman kustannusta. Esimerkiksi työtön voi jättää hakematta töitä ja nostaa työttömyysvakuutuksesta korvauksia kertomatta toiminnastaan ikinä maksajalle. Tässä tapauksessa vakuuttajan ei liene mahdotonta selvittää, hakiko työtön töitä vai ei, mutta yleensä selvittämisestä koituu jonkinlaisia kustannuksia.

Moraalikato vaikuttaisi olevan ennen kaikkea kannusteongelma, sillä vakuutuksesta saatavat korvaukset voivat kattaa vahingon välttämisestä aiheutuvan vaivan. Stiglitzin (1983) mukaan ongelman lähteenä on, että vakuutuksen ostaja ei joudu kantamaan täyttä vastuuta omista toimistaan ja ongelma vain pahenee vakuutuksen kattavuuden parantuksessa. Esimerkiksi edellinen työtön voi tyytyä vakuutuksesta saatavaan osittaista palkkaa vastaavaan korvaukseen, mutta korvauksen parantuessa hän päättää jättää hakematta töitä entistä varmemmin. Maksajan kannalta tällainen kannusteongelma on tietysti ongelmallinen, sillä hän ei alun perin ollut ajatellut työttömän hyväksikäyttävän vakuutusta tällä tavalla.

4.2 Valvontapeli

Vakuutuksen myöntäjälle luontainen toimintatapa moraalikadon estämiseen on vakuutuksen ostajan valvominen. Valvonnan seurauksena ostajan ja myyjän välinen epäsymmetrinen informaatio vähenee, ja vakuuttaja voi asettaa vakuutuksen ostajalle sanktioita ei-toivotusta toiminnasta. Valvomisesta aiheutuu vakuutuksen myyjälle kustannuksia, ja toisaalta ostajalle syntyy kustannuksia kiinnijäämisestä. Molemmat osapuolet joutuvat siis puntaroimaan kahden vaihtoehdon välillä. Vakuuttaja voi päättää säästää kustannuksissa ja olla valvomatta vakuutuksen ostajaa, tai käyttää rajallisia resursseja valvontaan. Ostaja taas päättää, haluaako hän ottaa kiinnijäämisen riskin vai nähdä hieman vaivaa ja olla tunnollinen.

Tästä hyvin yksinkertaistetusta tilanteesta muodostuu peli, jota voidaan kutsua valvontapeliksi. Borchilla (1990, s. 326-329) on pelistä hyvin valaiseva esimerkki, jossa pelaajina on lentoyhtiö ja vakuuttaja. Periaatteessa esimerkin analysoimisessa voitaisiin käyttää suoraan Borchin esimerkin taustatarinaa, mutta luodaan omalaatuisuuden vuoksi rakenteeltaan samanlainen esimerkki toisella taustatarinalla. Pelin tulokset ja niistä opittavat asiat eivät kuitenkaan muutu taustatarinaa muuttamalla.

Pelin pelaajina on vimpaimen myyjä ja ostaja. Myyjä tarjoaa vimpaimen hajoamiselle takuun, joka on oleellisesti vakuutus, mutta takuun saamiseksi ostajan tulee huoltaa vimpainta kuukausittain. Yksinkertaistuksen vuoksi vimpain hajoaa varmuudella, jos sitä ei huolleta. Huoltamisen puute ei ole kuitenkaan ainoa hajoamisen mahdollinen syy, minkä vuoksi valmistaja ei voi tietää hajosiko vimpain huollon puutteeseen, vai johonkin muuhun syyhyn. Huoltotoimenpide on ostajalle vaivalloinen, ja tästä johtuen siitä aiheutuu hänelle vaiva V . Aiheutuvan vaivan takia hänen tekisi mieli jättää huolto tekemättä ainakin silloin tällöin. Myyjä tunnistaa tämän ongelman mutta ei voi varmistua huoltamisesta millään muulla tapaa kuin valvomalla huollon suorittamisen. Ilman huollon tarkistamista myyjä ei

voi tietää, hajosiko vimpain huollon puutteeseen vai johonkin muuhun syyhyn, ja joutuu maksamaan hajoamistavasta riippumatta korvauksen K . Tarkistaminen ei ole myyjälle ilmaista, ja siitä aiheutuu myyjälle kustannus T . Kustannuksen vuoksi säännöllinen tarkistaminen on myyjälle epämiellyttävä vaihtoehto, ja hän haluaisi vältellä tarkistamista mahdollisimman paljon.

Ajatellaan vielä esimerkin yksinkertaistuksen vuoksi, että takuu ei raukea ostajan jäädessä kiinni huoltamatta jättämisestä vaan hän joutuu maksamaan myyjälle sakkomaksun S . Sakkomaksu kattaa vähintään tarkistuskustannuksen T , jotta pelin asetelma on mielekäs. Muussa tapauksessa myyjän ei kannata suorittaa tarkistusta ikinä, sillä sakkomaksu ei kata tarkistamisen kuluja. Sakkomaksun on oltava myös suurempi kuin tarkistamisesta aiheutuva vaiva V , jotta ostajan olisi kannattava tehdä huolto edes joskus. Lisäksi pelissä oletetaan, että molemmat osapuolet tekevät omat päätöksensä toisen päätöstä tietämättä. Päätöksistä riippuen osapuolien kuukausittaiset tulokset on esitetty taulukossa 1:

		Ostaja	
		Ei huolla	Huoltaa
Myyjä	Ei tarkista	$(-K, 0)$	$(0, -V)$
	Tarkistaa	$(S - T - K, -S)$	$(-T, -V)$

Taulukko 1: Valvontapelin tulomatriisi (Myyjä, Ostaja)

Jos molempien pelaajien oletetaan olevan rationaalisia niin, että he maksimoivat omaa lopputulostaan, niin Nash-tasapainossa kumpikaan pelaaja ei halua yksipuolisesti poiketa strategiastaan toisen strategia annettuna (esim. Goolsbee et al., 2016, s. 469). Toisin sanoen pelaajan tulos ei parane tasapainosta poistumalla, jos vain hän vaihtaisi strategiaansa. Pelin asetelmasta johtuen sillä ei ole lainkaan Nash-tasapainoa puhtaisten strategioiden joukossa, eli ei-satunnaisten strategioiden joukossa.

Edellinen väite on helppoa näyttää toteen: Valitaan matriisista mikä tahansa ruutu, niin ainakin jompikumpi pelaajista voisi saada paremman tuloksen yksipuolisella strategian vaihtamisella. Mahdollisia strategiavaihtoehtoja on vain neljä kappaletta, joten ne voidaan käydä yksittäin läpi. Vaihtoehdosta (Ei Tarkista, Ei huolla) myyjän kannattaisi vaihtaa tarkistamiseen, sillä $S - T - K > -K$. Vaihtoehdosta (Ei tarkista, Huoltaa) ostajan kannattaisi jättää huolto suorittamatta, koska $0 > -V$. Vastaavasti tilanteessa (Tarkistaa, Ei huolla) ostajan kannattaisi huoltaa, sillä oletuksena $-V > -S$. Viimeisenä vaihtoehtona on ruutu (Tarkistaa, Huoltaa) ja siinä myyjän kannattaisi jättää tarkistus tekemättä ($0 > -T$). Tämän perusteella pelillä ei voi olla tasapainoa puhtaissa strategioissa.

Pelille löydetään kuitenkin tasapaino, jos pelaajien sallitaan käyttää sekastrategioita. Sekastrategioissa pelaajat valitsevat toimintansa satunnaisesti jollain todennäköisyydellä riippumatta toisistaan ja aikaisemmista kuukausista. Merkitään päätösten todennäköisyyksiä tasapainossa niin, että myyjä tekee tarkistuksen todennäköisyydellä $p_T^* \in (0, 1)$ ja ei tee tarkistusta tämän komplementtina $1 - p_T^*$. Vastaavalla tavalla ostaja huoltaa vimpaimen todennäköisyydellä p_H^* ja ei huolla sitä todennäköisyydellä $1 - p_H^*$. Sekastrategioiden tasapainossa todennäköisyydet ovat:

$$\{(p_T^*, 1 - p_T^*), (p_H^*, 1 - p_H^*)\} = \left\{ \left(\frac{V}{S}, 1 - \frac{V}{S} \right), \left(\frac{S - T}{S}, 1 - \frac{S - T}{S} \right) \right\}.$$

Tasapainotodennäköisyyksien ratkaisun voi lukea liitteestä [A.2 Valvontapelin sekastrategioiden tasapaino](#). Konkretian lisäämiseksi annetaan esimerkkiin keksityt numeeriset arvot. Sanotaan huollosta aiheutuvan ostajalle vaivaa 20, myyjälle tarkistus maksaa 40 ja sakkomaksu on 50 yksikköä. Tällöin myyjä suorittaa tarkistuksen todennäköisyydellä $20/50 = 0,4$, ja ostaja suorittaa huollon todennäköisyydellä $(50 - 40)/50 = 0,2$. Anekdoottin omaisesti voidaan sanoa, että onneton vakuuttaja ei tajua moraalikadon vaaraa mutta hieman onnellisempi vakuuttaja tajua vaaran olemassaolon. Ymmärtämällä moraalikadon vaaran hän sai omalla toiminnallaan ostajan suorittamaan huollon edes joskus, kun onnettoman vakuuttajan kohtalona on asiakas, joka ei huolla vimpainta ikinä.

Koska edellisen pelin asetelma on sama kuin Borchin (1990, s. 326-329) pelissä, niin molemmissa päädytään samaan tulokseen. Taulukon 1 lopputulemien ja ylläesitettyjen todennäköisyyksien perusteella myyjän odotusarvoiseksi tulokseksi muodostuu $-(K \cdot T)/S$, ja ostajan odotusarvoinen tulos on $-V$. Ostajan tulos on odotusarvoisesti yhtä suuri kuin vimpaimen suorittamisesta aiheutuva vaiva, joten tasapainossa moraalikadon mahdollisuus ei muuta hänen hyvinvointiaan lainkaan verrattuna tunnolliseen toimintaan. Valvonnan seurauksena hän ei täten odotusarvoisesti voi hyötyä moraalikadon mahdollisuudesta. Myyjän tilanne ei ole yhtä ruusuinen, sillä hänen odotusarvoinen tuloksensa on negatiivinen ja täten se on huonompi kuin se olisi ilman moraalikadon mahdollisuutta. Ilman vaaraa moraalikadosta myyjän tulos olisi 0, sillä hänen ei tarvitsisi ikinä huolehtia ostajan valvomisesta. Borch (1990, s. 329) toteaa valvonnasta seuraavan kustannuksen olevan moraalikadon mahdollisuudesta seuraava todellinen kustannus, sillä ilman moraalikadon mahdollisuutta koko kustannusta ei olisi olemassa. Hän korostaa, että kustannus ei vaadi syntyäkseen välttämättä ostajan halua huijata vaan pelkkä vaaran olemassaolo saa varovaisen vakuuttajan valvomaan asiakkaan perään.

4.3 Keinoja moraalikadon estämiseksi

Vaikka peli on yksinkertainen, niin siitä voi oppia hyödyllisiä asioita. Myyjän kannattaa valvoa asiakasta sitä enemmän, mitä suurempi vaiva ostajalle koituu suhteessa sakkomaksuun. Havainto tuntuu intuitiivisestikin järkevältä, sillä ostajan ei kannata nähdä vaivaa siinä tapauksessa, jos kiinnijäämisen kustannus on lähes yhtä suuri kuin tunnollisuuden vaiva. Toisaalta ostajan kannattaa toimia sitä useammin tunnollisesti, mitä useamman tarkistuskustannuksen sakkomaksu kattaa. Myös tämä on intuitiivisesti selvää vertaamalla tilanteita, joissa myyjä saa yhdellä hyödyllisellä tarkistuksella katettua joko viisi tai kymmenen turhaa tarkistuskertaa. Luonnollisesti ensimmäisessä tapauksessa myyjä pöhtii tarkemmin, kannattaako tarkistusta suorittaa, sillä sen kustannukset ovat suhteellisesti suuremmat kuin jälkimmäisessä tapauksessa. Vakuutuksen myyjä voi siis vähentää moraalikadon vaaraa valvomalla asiakkaan perään ja rankaisemalla riittävästi vääränlaisesta toiminnasta. Myyjän odotusarvoisen tuloksen mukaan moraalikadon aiheuttamat kustannukset lähestyvät nollaa, kun sakkomaksun suuruus kasvaa suureksi, ja siksi sakkomaksun kannattaa olla korkea. Käytännössä sakkomaksua ei voi kuitenkaan kasvattaa rajatta, sillä sakkomaksuun vaikuttavat myös muut tekijät, kuten markkinoiden kilpailullisuus ja lainsäädäntö. (Borch, 1990, s. 329).

Vaikka valvomisen kannattavuus paranee sakkomaksua korottamalla, niin silti sen

haittapuolena on hinta ja käyttökelpoisuus. Edellisessä esimerkissä myyjän huomio kiinnittyi vain laitteen huoltamiseen, kun todellisuudessa ostaja voi hajottaa laitteen myös huolimattomalla käytöllä tai monella muulla ei-toivotulla tavalla. Holmström (1979) toteaa valvonnan olevan luonnollinen moraalikadon ehkäisijä, mutta vain tapauksissa, joissa valvominen on mahdollista ja edullista. Informaation hankkimisen kustannuksen kasvu lisää myös edellisessä pelissä moraalikadon aiheuttamaa kustannusta tarkistusmaksun kasvamisen muodossa. Siksi valvonta ei ole optimaalinen keino vähentää moraalikatoa, kun systeemi monimutkaistuu. Riittävän monimutkainen systeemi voi tehdä täydellisestä valvonnasta jopa mahdotonta, joten lienee hyödyllistä pohtia moraalikatoa ehkäiseviä toimia, jotka toimivat myös yleisemmissä ja monimutkaisemmissa tilanteissa.

Holmströmin (1979) päätulos on hyödyllinen tilanteissa, joissa täydellinen valvonta on poissuljettua. Sen mukaan sopimuksen kannustimia voidaan parantaa minkä tahansa informaation avulla, joka antaa yhtään informaatiota vakuutuksen ostajan toiminnasta. Tämä informaatio tai signaali voi olla tuloksen mukaan miten kohinaista tahansa, ja siitä huolimatta sitä voidaan hyödyntää sopimusten kannusteiden parantamisessa. Tämä pätee tietysti sillä edellytyksellä, että signaalin tuoma hyöty on suurempi kuin signaalin hankkimisen ja käyttämisen kustannus.

Edellisen valvontapelin esimerkkiä voitaisiin muuttaa niin, että myyjä voi tarkistaa hajonneen vimpaimen suhteellisen edullisesti ja saada sen kunnan perusteella jonkinlaisen käsityksen siitä, että huoltiko ostaja vimpainta vai ei. Kuvitteellisesti myyjä voisi havaita vimpaimen laakereiden kuluneen enemmän kuin niiden pitäisi kunnollisella huoltamisella kuluu. Siksi kuluminen viittaisi siihen, että ostaja ei suorittanut huoltoa mutta myyjä ei voi mennä väittämään tätä varmaksi. Kuluma antaa kuitenkin edes jonkintasoista informaatiota ostajan toiminnasta, joten sitä pitäisi hyödyntää sopimuksen parantamisessa. Sopimuksessa voitaisiin esimerkiksi eritellä, että huonokuntoista hajonnutta vimpainta vastaan ei saa yhtä suurta korvausta kuin hyväkuntoista hajonnutta vimpainta vastaan. Teoriassa tämän ehdon pitäisi lisätä ostajan kannusteita huoltaa laitetta, sillä huollon suorittamisella laite pysyy todennäköisesti paremmassa kunnossa.

Saadun tai hankitun informaation ei tarvitse olla negatiivista, vaan informaatio voi myös puoltaa ostajan toimineen vahinkoa välttävästi. Tällaista informaatiota voidaan hyödyntää vakuutuksen ostajan palkitsemisessa. Goolsbee et al. (2016) ovat maininneet palkitsemisesta esimerkkeinä sairausvakuutuksen hinnan alenemisen, jos ostaja lopettaa tupakoinnin, tai tulipalovakuutuksen hinnan alentumisen, jos asiakas uusii sähköjärjestelmänsä modernimpaan. Myös vähäiset vahingot antavat osviittaa henkilön oikeasta toiminnasta, jolloin ostajaa voidaan palkita vähäisistä vahingoista. Haitallisen valikoitumisen yhteydessä mainittiin bonusjärjestelmät, jotka vähentävät haitallisen valikoitumisen syntymistä, mutta ne voivat samalla toimia myös moraalikadon vähentäjinä. Jos vakuutuksen ostajan suorittamalla varotoimilla on mitään merkitystä vahingon todennäköisyyteen ja vahingon todennäköisyydellä on mitään merkitystä vakuutuksen hintaan, niin silloin ostaja voi alentaa vakuutuksensa hintaa suorittamalla varotoimia.

Moraalikatoa vähentämään voidaan käyttää myös muita kannustimia. Arkielämästä tuttu sopimustekninen kannustin on omavastuumaksu, jonka seurauksena vakuutuksen ostaja joutuu maksamaan vahingosta osan itse. Holmström (1979) näytti tiettyjen oletusten vallitessa omavastuumaksun olevan optimaalinen tapa moraalikadon hillinnässä. Opti-

maailisuus vaatii muun muassa vakuuttajan riskineutraaliuden ja sen, että ostajan suorittamat varotoimet vaikuttavat vain vahingon todennäköisyyteen, eikä korvausvaatimuksen suuruuteen. Teoriassa kaikkien oletusten pätiessä omavastuun pitäisi yksinään olla riittävä keino moraalikadon estämiseksi. Havainnon lisätueksi Holmström antoi omavastuiden yleisyyden vahinkovakuutuksissa. Lisätuki toimii edelleen liki 40 vuotta myöhemmin, sillä vahinkojen omavastuut ovat edelleen arkipäivää. Niitä tavataan edelleen perinteisissä vahinkovakuutuksissa ja vahinkovakuutusten ohella myös esimerkiksi Kansaneläkelaitoksen (Kela) lääke- ja matkakorvauksissa.

Kaikille edellä mainituille keinoille on yhteistä kannusteiden muuttaminen ja se vaikuttaisi olevan selvin tapa ehkäistä moraalikadon syntymistä, onhan moraalikato lähtöjään kannustinongelma. Väitettä puoltaa niin teoreettinen tutkimus (Holmström, 1979; Stiglitz, 1983) kuin käytännön elämän vakuutusten tarkat sopimusehdot, omavastuuosuudet ja bonusjärjestelmät. Vaikka ratkaisu ongelmaan näyttäisi olevan kannusteet, niin tässä työssä ei olla vastattu lainkaan kannusteiden tarkkaan kokoon. Ongelma on mielenkiintoinen, mutta ongelman laajuuden vuoksi optimaalisten kannustinjärjestelmien tarkempi analysointi jätetään toiseen työhön.

5 Johtopäätökset

Loppuun on hyvä koota yhteen työssä opittuja asioita. Ensinnäkin vakutuuksiin liittyy epävarmuutta, mikä on vakuutustoiminnan perusta. Satunnaisuudesta johtuva epävarmuus aiheuttaa varallisuuden vaihtelua, joka aiheuttaa riskiaversiiviselle yksilölle hyödyn alenemaa. Riskiaversion vuoksi he valitsevat mieluummin vähemmän rahaa varmuudella kuin odotusarvoisesti suuremman epävarman tulon ja ovat täten valmiita maksamaan riskin poistamisesta.

Ominaisuutta kuvaamaan tarvitaan teoria, joka vangitsee ajatuksen. Työn alussa esiteltiin tähän kehitetty odotetun hyödyn teoria. Odotetun hyödyn teoria toimii, kun systemissä olevat henkilöt ovat rationaalisia VMM-mielessä. Teoriaa kohtaan on kuitenkin osoitettu myös paljon kritiikkiä ja tämä on hyvä mainita viimeistään tässä vaiheessa, vaikkei mallin kritiikin analysointi olekaan tämän työn tavoitteena. Kritiikkiä ei voida sen laajuuden vuoksi käydä kattavasti läpi tässä, mutta esimerkin vuoksi voidaan esittää muutama syy kritisoida mallia. Mallia voi kritisoida muun muassa sen tekemien rationaalisuusoletusten vuoksi. Esimerkiksi Goolsbee et al. (2016, s. 696) esittävät monen muun ohella seuraavia argumentteja. Monelle saavutetun omaisuuden menettämisestä seuraava tuska ei ole lainkaan verrannollinen tilanteeseen, jossa he eivät tätä varallisuutta ikinä omistaneetkaan. Yleisemmin tämä ilmenee häviämisen pelkona, jossa henkilöllä on mielessään jokin tietty arvo varallisuuden arvo, jonka alapuolelle hän ei halua joutua. Tässä tapauksessa kyse on enemmän periaatteesta kuin hyödyn maksimoimisesta. Odotetun hyödyn teorian perusteella vaihtoehtojen asettelullakaan ei pitäisi olla merkitystä, sillä vaihtoehtojen vertailtavuus pitäisi olla aina sama mutta Goolsbee et al. (2016, s. 696-697) väittävät ihmisten monesti rikkovan myös tätä oletusta. Esimerkiksi ihmisten vastaukset kysymyksiin voivat riippua kysymyksen asettelusta tai ostopäätökset vanhoista hinnoista. Käytännössä vakuutusehtojen erilainen muotoilu voi joidenkin henkilöiden päätöksiin, ja näin ei saisi teorian puolesta olla.

Kritiikistä huolimatta markkinoilla täytyy olla myös vakuuttaja, joka suostuu otamaan taloudellisen riskin omille harteilleen. Työssä vakuuttajan roolista tehtiin vain oletuksia eikä juurikaan perusteltu niitä. Vakuuttajien ajateltiin olevan riskineutraaleja toimijoita, jotka hinnoittelevat vakuutukset odotusarvojen pohjalta. Teoriassa näin ei tarvitsisi olla, ja pelkästään tarjontapuolen ominaisuuksien tutkimiselle olisi voinut antaa huomattavasti enemmän huomiota kuin nyt tehtiin. Oletukset motivoitiin hajauttamisesta seuraavalla riskin alentumisella, jonka seurauksena tehdyt oletukset eivät tunnu ainakaan mahdottomilta ja vakuutusmarkkinoiden analysointia voitiin jatkaa.

Markkinoilta opittiin, ettei vakuutuksen ostajat halua ostaa täyttä vakuutusta, joka takaa tasaisen varallisuuden tapahtumista riippumatta, ellei vakuutusehdot ole odotusarvoisesti reiluja. Toisin sanoen vakuutuksen preemio ei voi sisältää hallinnollisia kuluja tai muutakaan ylimääräistä, joka ei liity suoraan vakuutettavaan riskiin ilman vakuutuksen kattavuuden alentumista. Teorian pohjalta tosielämässä kenenkään ei ikinä kannattaisi hankkia täyttä vakuutusta, sillä väistämättä vakuutusyhtiöt joutuvat sisällyttämään vakuutuksiin muitakin kuluja, mutta teoria ei näytä toteutuvan todellisuudessa (Borch, 1990, s. 309). Myös tämä havainto puoltaa jonkin verran väitettä, etteivät ihmiset välttämättä ole aina rationaalisia VNM-mielessä. Puutteista huolimatta teoria antaa kehyksen, josta vakuutusmarkkinoiden tutkimisen voi aloittaa.

Kuten todettua, niin vakuutuksien ominaispiirteenä niihin liittyy epäsymmetristä informaatiota. Ei ole vaikeaa muodostaa skenaarioita, joissa vakuutuksen ostajalla on enemmän olennaista tietoa itsestään kuin vakuutuksen myyjällä. Tämä aiheuttaa ainakin kahdenlaisia ilmeisiä ongelmia vakuutusmarkkinoilla. Ensimmäinen ongelma on haitallinen valikoituminen ja toinen on moraalikato. Nämä ongelmat voivat olla kokonaishyvinvoinnin kannalta erittäin merkityksellisiä, sillä lähtökohtaisesti ostajilla on aito halu hankkia vakuutus mutta pahimmassa tapauksessa vakuutusta ei voida yksinkertaisesti myöntää ostajalle. Hieman paremmassa tapauksessa, mutta ei optimaalisessa sellaisessa, vakuutusehdot ovat huonommat kuin ne olisivat ilman epäsymmetristä informaatiota.

Epäsymmetrinen informaatio ilmenee haitallisen valikoitumisen muodossa niin, että matalan riskitason asiakkaan on hankalaa uskottavasti ilmaista olevansa alhaisen riskitason asiakas. Asiakas voi yksityisesti tietää oman riskitasonsa, mutta sen julkituominen voi olla pahimmillaan mahdotonta, kun korkean riskitason asiakkailla on mahdollisuus väittää samaa. Periaatteessa korkean riskitason asiakkaan ei tarvitse edes hyödyntää tätä mahdollisuutta, vaan pelkästään vaaran olemassaolo on riittävää ilmiön synnyttämiseksi. Kuten Rothschild ja Stiglitz (1976) osuvasti sanoivat, niin korkean riskitason asiakkaat aiheuttavat olemassaolollaan negatiivisen ulkoisvaikutuksen vakuutusmarkkinoille. Ulkoisvaikutuksen seurauksena vakuuttaja ei voi myydä vakuutuksia matalan riskitason asiakkaille riittävän edullisesti, jolloin he päättävät jättäytyä pois markkinoilta. Loppujen lopuksi korkean riskitason asiakkaat itsekään eivät hyödy aiheuttamasta ulkoisvaikutuksesta, jolloin haitallisesta valikoitumisesta seuraa varmasti hyvinvointitappiota.

Vaikka haitallisen valikoitumisen ongelma voi olla merkittävä, niin sitä vastaan on olemassa keinoja, joita käytetään teorian ohella myös käytännössä. Keinoarsenaaliin lukeutuu muun muassa vakuutuspakko, asiakkaiden valikoiminen tai vakuutusten hinnoittelu ulkoisten seikkojen perusteella, vakuutusopimusten suunnittelu kullekin asiakasryhmälle kannattavaksi ja matalariskisyydestä palkitseminen. Tilanne ei siis ole aivan niin synkkä

kuin ensin saattaisi ajatella, mutta haitallinen valikoituminen on totisesti huomioitava vakuutuksia suunniteltaessa. Vakuutuksen kohteesta riippuen ei aina edes riitä, että pelkkä vakuuttaja pohtii ongelmaa, vaan ongelmaan voidaan joutua puuttumaan myös lainsäädännön kautta. Esimerkkeinä jälkimmäisestä käytettiin Obamacarea ja Suomen tieliikennevakuutusta, jotka viimeistään kuvastavat ongelman merkitystä koko yhteiskunnalle.

Toinen työssä käsitelty epäsymmetristä informaatiota sisältävä ongelma oli moraalikato. Myös moraalikadossa vakuutuksen ostajalla on sellaista tietoa, joka ei ole saatavilla julkisesti ilman kustannuksia ja äärimmäisessä tapauksessa vakuutuksen myyjän on käytännössä mahdotonta saada haluamansa tietoa. Ongelmana on, että vakuutuksen ostaja voi toimia vakuuttajan odotusten vastaisesti kasvattaen korvausvaatimusten todennäköisyyttä. Ongelman tiedostaessaan vakuuttaja voi aloittaa ostajan kanssa kissa-hiiri -leikin, jossa vakuutuksen myyjä pohtii, kannattaako asiakkaan valvomiseen käyttää resursseja ja vakuutuksen ostaja vastaavasti miettii, ottaako hän kiinnijäämisen riskin luistamalla velvollisuuksistaan. Tilannetta mallinnettiin yksinkertaistetulla pelillä, josta opittiin muun muassa, että kiinnijäämisestä pitää olla tuntuva rangaistus. Korkean rangaistuksen seurauksena ostajalla ei ole niin suurta kannustetta toimia riskiä kasvattavasti kuin se olisi pienellä rangaistuksella. Pelkästään jo tämä viittaisi siihen, että moraalikato on oikeastaan kannusteongelma, johon pitäisi puuttua kannusteita muuttamalla.

Monesti vahtiminen ja väärästä toiminnasta rankaiseminen eivät ole aina mahdollisia keinoja vähentää moraalikatoa, jos vahtiminen on vaikeaa tai liian kallista. Koska moraalikato on ennen kaikkea kannustinongelma, niin ongelmaan voidaan puuttua myös ostajan kannusteita parantamalla. Holmströmin (1979) työn perusteella opittiin, että kaikkea informaatiota, joka kertoo jotain vakuutuksen ostajan toiminnasta, voidaan käyttää sopimuksen kannustimien parantamiseen. Toisin sanoen vakuutuksen ostajan taloudellista vastuuta voidaan kasvattaa tai vähentää sellaisten seikkojen perusteella, jotka jollain todennäköisyydellä kertovat jotain ostajan toiminnasta. Vastuuta voidaan pienentää esimerkiksi siinä tapauksessa, että vahinkoja on sattunut poikkeuksellisen vähän.

Hankitun tai saadun informaation lisäksi moraalikatoa voidaan ehkäistä myös omavastuumaksuilla. Omavastuiden ideana on, että vakuutuksen ostaja joutuu kantamaan osan riskistä. Omavastuuosuuden kasvattamisen seurauksena vakuutuksen ostaja joutuu kärsimään itse enemmän, jos hän päättää toimia riskiä lisäävästi ja siksi riittävän suuren omavastuumaksun pitäisi vähentää ostajan kannusteita toimia niin. Kaikkien edellä mainittujen keinojen yhteinen tekijä on vakuutuksen ostajan ja myyjän intressien yhdistäminen, ja tämä näyttäisi teorian ja käytännön vakuutusten perusteella olevan avain moraalikadon vähentämiseen.

Epäsymmetrinen informaatio ja siitä seuraavat lieveilmiöt haitallinen valikoituminen ja moraalikato ovat merkittäviä ongelmia hyväksyi odotetun hyödyn teoriaa tai ei. Riittää vain hyväksyä fakta, että ostajalla voi olla informaatiota, jota voi käyttää vakuuttajan kannalta haitallisesti. Haitallisella valikoitumisella näytettiin olevan vaikutusta jopa lainsäädäntöön, eikä moraalikatokaan ei ole mitätön ilmiö, vaikka sitä analysoitiin vain vakuutusten näkökulmasta. Se laajenee nimittäin aina kaikenlaisiin agentti-päämies-ongelmiin, joita ilmenee lukuisilla talouden alueilla, joista esimerkkinä vakuutusten ulkopuolelta voidaan mainita työnantajan ja -tekijän väliset intressiristiriidat. Ilmiöillä on siis selvää taloudellista vaikutusta ja niihin on syytä perehtyä lisää myöhemmissä töissä.

Viitteet

- Akerlof, G. (1970). "The Market for 'Lemons': Quality Uncertainty and the Market Mechanism". *The Quarterly Journal of Economics* Vol. 84.3, s. 488–500. ISSN: 0033-5533.
- Borch, K. (1990). *Economics of Insurance*. Amsterdam: North-Holland. ISBN: 0-444-87344-9.
- Goolsbee, A., Levitt, S. & Syverson, C. (2016). *Microeconomics*. (2. ed., 1. pr.) New York, NY: Worth Publishers. ISBN: 978-1-4641-8702-5.
- Holmström, B. (1979). "Moral Hazard and Observability". *Bell Journal of Economics* Vol. 10.1, s. 74. ISSN: 0361-915X.
- Malinvaud, E. (1952). "Note on von Neumann-Morgenstern's Strong Independence Axiom". *Econometrica* Vol. 20.4, s. 679. ISSN: 0012-9682.
- Markowitz, H. (1952). "Portfolio Selection". *The Journal of Finance* Vol. 7.1, s. 77–91. ISSN: 0022-1082.
- Mossin, J. (1968). "Aspects of Rational Insurance Purchasing". *Journal of Political Economy* Vol. 76.4, s. 553–568. ISSN: 0022-3808.
- Pratt, J.W. (1964). "Risk Aversion in the Small and in the Large". *Econometrica* Vol. 32.(1-2), s. 122–136. ISSN: 1468-0262.
- Rothschild, M. & Stiglitz, J. (1976). "Equilibrium in Competitive Insurance Markets: An Essay on the Economics of Imperfect Information". *The Quarterly Journal of Economics* Vol. 90.4, s. 629–649. ISSN: 0033-5533.
- Samuelson, P. (1952). "Probability, Utility, and the Independence Axiom". *Econometrica* Vol. 20.4, s. 670–678. ISSN: 0012-9682.
- Spence, M. (1973). "Job Market Signaling". *The Quarterly Journal of Economics* Vol. 87.3, s. 355–374. ISSN: 00335533.
- Stiglitz, J. (1983). "Risk, Incentives and Insurance: The Pure Theory of Moral Hazard". *The Geneva Papers on Risk and Insurance* Vol. 8.26, s. 4–33. ISSN: 0252-1148.
- Suomen virallinen tilasto (SVT) (2016). *Vakuutustoiminta 2015*. Toim. Tilastokeskus. URL: http://www.stat.fi/til/vato/2015/vato_2015_2016-11-21_tie_001_fi.html (viitattu 25. 10. 2017).
- Von Neumann, J. & Morgenstern, O. (1990). *Theory of Games and Economic Behavior*. (3. ed., 6. pr.) Princeton, NJ: Princeton Univ. ISBN: 0-691-00362-9.

Liite A: Aputuloksia

A.1 Keskimääräisen vakuutuskorvauksen varianssi

Määritellään satunnaismuuttuja \bar{X} vakuutus sopimusten X_i , $i \in 1, \dots, n$ korvausvaatimusten satunnaisiksi keskiarvoksi, jonka varianssille johdetaan tässä kaava.

$$\begin{aligned} \text{Var}(\bar{X}) &= \text{Var}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right) && \parallel \text{Var}(aX) = a^2 \text{Var}(X), a \text{ vakio.} \\ &= \frac{1}{n^2} \cdot \text{Var}\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) && \parallel \text{Var}\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) = \sum_{i,j=1}^n \text{cov}(X_i, X_j) \\ &= \frac{1}{n^2} \left(\sum_{i,j=1}^n \text{Cov}(X_i, X_j)\right) && \parallel \text{Cov}(X_i, X_i) = \text{Var}(X_i) \\ &= \frac{1}{n^2} \left(\sum_{i=1}^n \text{Var}(X_i) + \sum_{i \neq j} \text{Cov}(X_i, X_j)\right) && \parallel \rho_{i,j} = \frac{\text{Cov}(X_i, X_j)}{\sqrt{\text{Var}(X_i)\text{Var}(X_j)}} \\ &= \frac{1}{n^2} \left(\sum_{i=1}^n \text{Var}(X_i) + \sum_{i \neq j} \rho_{i,j} \sqrt{\text{Var}(X_i)\text{Var}(X_j)}\right) \end{aligned}$$

Ylläolevalla kaavalla voidaan laskea \bar{X} :n varianssi, kun tiedetään kunkin yksittäisen sopimuksen korvausvaatimuksen varianssi sekä kunkin sopimusparin välinen korrelaatio. Summalausekkeissa on yhteensä n^2 termiä, sillä sopimusparin ensimmäinen alkio voidaan valita n :llä tavalla ja samoin jälkimmäinen. Näistä n on ensimmäisessä summassa, jossa on ne sopimusparit, joiden indeksit ovat samat. Loput $n^2 - n$ termiä ovat jälkimmäisessä summassa. Jos sopimusparien välisen korrelaation keskiarvo on $\rho \in [0, 1]$ ja korvausvaatimusten varianssi on vakio $\sigma^2 < \infty$, niin silloin lauseke sievenee muotoon:

$$= \frac{1}{n^2} (n\sigma^2 + (n^2 - n)\rho\sigma^2) = \frac{\sigma^2 + (n-1)\rho\sigma^2}{n}.$$

Muoto on sama kuin esitettiin kaavassa (5).

A.2 Valvontapelin sekastrategioiden tasapaino

Sekastrategioiden tasapainon selvittämistä varten pitää muodostaa funktiot, jotka kuvaavat pelaajien odotusarvoisia tuottoja. Muodostetaan ensin ostajan tuottoja kuvaavat funktiot. Ostajan odotusarvoinen tuotto, kun ostaja ei huolla laitetta ja myyjä suorittaa tarkistuksen todennäköisyydellä p_T on:

$$(1 - p_T) \cdot 0 + p_T \cdot (-S) = -S \cdot p_T.$$

Vastaavasti tilanteessa, jossa ostaja huoltaa laitteen ja myyjä suorittaa tarkistuksen todennäköisyydellä p_T , on ostajan odotusarvoinen tulos:

$$(1 - p_T) \cdot (-V) + p_T \cdot (-V) = -V.$$

Tasapainossa ostajalle molempien vaihtoehtojen tuottojen on oltava yhtä suuret ja tästä ehdosta voidaan ratkaista p_T^* :

$$-S \cdot p_T^* = -V \iff p_T^* = \frac{V}{S}.$$

Vastaavalla logiikalla voidaan ratkaista myös p_H . Jos ostaja huoltaa vimpaimen todennäköisyydellä p_H ja myyjä ei suorita tarkistusta, niin myyjän odotusarvoinen tulos on:

$$(1 - p_H) \cdot (-K) + p_H \cdot 0 = K \cdot (p_H - 1).$$

Jos myyjä suorittaa tarkistuksen ja huollon todennäköisyys on p_H , niin myyjän odotusarvoinen tuotto tässä tapauksessa on:

$$(1 - p_H) \cdot (S - T - K) + p_H \cdot (-T) = S - T - K + p_H \cdot (K - S).$$

Tasapainossa myyjälle molemmat vaihtoehdot ovat yhtä hyviä, joten p_H^* voidaan ratkaista seuraavasti:

$$K \cdot (p_H^* - 1) = S - T - K + p_H^* \cdot (K - S) \iff p_H^* = \frac{S - T}{S}$$