

## Ympäristöriskien säätely ja vakuuttaminen

JEAN-JACQUES LAFFONT

### 1 Johdanto

Monet ympäristöriskit ovat alttiita inhimillisille laiminlyönneille, ts. niihin liittyy vakavia *moral hazard* -ongelmia.\* *Exxon Valdes* ajoi karille kapteenin huolimattomuuden vuoksi, miehistön piittaamattomuus aiheutti Shetlandin öljyvahingot ja Tshernobylin onnettomuus johtui turvajärjestelmien poiskytkemisestä. Joka päivä huolimattomuus surmaa ihmisiä liikenteessä. Yhä monimutkaisemmissa yhteiskunnissamme yhä suurempi joukko talouden toimijoita hoitaa tehtäviä, jotka aiheuttavat merkittäviä uhkia koko yhteisölle.

Tämän kirjoituksen tarkoituksena on analysoida kustannustehokkuuden ja turvallisuuden välistä potentiaalista ristiriitaa. Intuitiomme mukaan joko säätely (regulation) tai pelkkä kilpailu painottaessaan yksinomaan kustannusten minimointia voi johtaa talouden toimijat ottamaan liian suuria riskejä. Tässä artikkelissa ongelmaa tarkastellaan luonnollisen monopolin säätelyongelmana. Voidaan osoittaa, että tehokkaat tuloskannustimet voivat johtaa ristiriitaan turvallisuustavoitteen kanssa. Sama intuitio voidaan laajentaa myös yleisempiin päämies-agentti -asetelmiin, joissa päämies delegoi agentille tehtävän johon liittyy päämiehen riski.

Tiedossani ei ole tutkimuksia, joissa tarkasteltaisiin ympäristöriskeihin liittyvää *moral hazard*-ongelmaa yhdistettynä valinnan ongelmiin (adverse

selection), rajoitettuun vastuuseen (limited liability) ja riskin kaihtamiseen. Sen sijaan *Baron* ja *Besanko* (1987, 1988) sekä *Laffont* ja *Rochet* (1993) ovat analysoineet riskin kaihtamista ja säätelyä, *Strand* (1992) ja *Gabel & Sinclair-Desgagné* (1993) taas ympäristöriskejä ja *moral hazard* -ongelmaa. Empiiristä aineistoa sisältävät *Glickman* ja *Golding* (1992), *Grigalunas* ja *Opaluch* (1988) sekä *Opaluch* ja *Grigalunas* (1984).

Seuraavassa jaksossa esitetään säädeltävän yrityksen malli. Mallissa on kaksi erilaista ponnisteluunuttujaa (effort variables). Toinen vähentää kustannuksia, toinen taas onnettomuustodennäköisyyttä. Molemmat muuttujat ovat substituutteja yritysjohtajan tappiofunktiossa. Kolmannessa jaksossa johdetaan optimaalinen säätely epätäydellisen informaation vallitessa. Optimissa kannustimet turvallisuuden ylläpitoon ovat riittävät ja osasta voitoista luovutaan tehokkaampien yritysten hyväksi. Voitot ovat samat kuin ilman turvallisuusongelmia mutta ponnistelut kustannusten vähentämiseksi ovat pienemmät, jonka seurauksena kustannukset ovat suuremmat kuin ilman turvatoimia. Jaksossa 4 asetetaan yrityksen rajoitettu vastuu optimoimmin rajoitteeksi. Tärkein seuraus tästä on tarve taata positiiviset voitot myös kaikkein tehottomimmalle yritykselle, jotta sekin voisi huolehtia turvallisuudesta. Viidennessä jaksossa tarkastellaan riskin kaihtamisen vaikutusta tuloksiin. Tehokkuus kärsii, koska voittojen turvallisuuskustannus muodostuu nyt säätelijälle suuremmaksi kuin riskineutraalissa tapauksessa. Tähän asti vain yksi päämies vastaa sekä säätelystä että vakuutuksesta. Tarkastelemme kuitenkin lyhyesti myös sitä mitä

\* Esitelmä, jonka prof. Laffont piti Helsingin yliopistossa 10.12.1993 saadessaan kansainvälisen Yrjö Jahnsson -palkinnon.

tehottomuuksia seuraa siitä, että vakuutusturva ostetaan vakuutusyhtiöltä. Tällöin seuraa vakavia koordinaatio-ongelmia, jotka vaativat julkisen vallan interventiota.

## 2 Malli

Tarkastellaan säädeltyä monopolia, jonka on toteutettava tietyn lisäarvon  $S$  tuottava projekti. Säätelijän havaitsema projektin kustannus on

$$(1) C = \beta - e_1,$$

missä  $\beta$  on monopolin tehokkuutta kuvaava tunnusluku ja  $e_1$  on yritysjohtoon vaivannäkö kustannusten alentamiseksi. Yrityksen toiminta aiheuttaa riskin. Todennäköisyydellä  $1 - \pi$  tapahtuu katastrofi, jonka kustannukset ovat  $E$ . Siten projektin odotettu tuotto on  $S - (1 - \pi)E$ . Todennäköisyyteen, että onnettomuutta ei tapahdu ( $\pi$ ) vaikuttavat yrityksen turvatoimet  $e_2$ , jotka yhdessä  $e_1$ :n kanssa aiheuttavat yritysjohdolle haitan  $\psi(e_1 + e_2)$ . Yksinkertaistaaksemme analyysia oletamme, että  $e_2$  on joko 0 tai 1 ja että  $\pi(1) > \pi(0)$ . Säätelijä havaitsee kustannuksen *ex post* ja jättää yritykseen osuuden  $t$  sen tuotosta. Siten yrityksen hyöty on

$$(2) U = t - \psi(e_1 + e_2).$$

Kuluttajien odotettu hyöty on

$$(3) V = S - (1 - \pi(e_2))E - (1 + \lambda)(C + t),$$

missä  $1 + \lambda$  on yrityksen saaman kompensaation sosiaalinen arvo. Utilitaristisen säätelijän tavoite voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$(4) W = V + U = S - (1 - \pi(e_2))E - (1 + \lambda)(\beta - e_1 + t) + t - \psi(e_1 + e_2) \\ = S - (1 - \pi(e_2))E - (1 + \lambda)(\beta - e_1 + \psi(e_1 + e_2)) - \lambda U.$$

Teemme seuraavan säännöllisyysoletuksen:

$$H_0 \psi(0) = 0, \psi'(0) > 0, \psi'' > 0, \psi''' \geq 0.$$

Kun  $\beta, e_1$  ja  $e_2$  tunnetaan, utilitaristinen säätelijä maksimoi (4):n rajoitteella

$$(5) U \geq 0.$$

Maksimointi johtaa seuraavaan tulokseen:

**Tulos 1.** *Epätäydellisen informaation vallitessa optimaalisen säätelyn sisäpisteratkaisussa seuraavat ehdot ovat voimassa:*

- (i)  $e_2 = 1$
- (ii)  $\psi'(e_1 + 1) = 1$
- (iii)  $U = 0$ .

Jos mahdollinen vahinko  $E$  on riittävän suuri, on aina paras ratkaisu huolehtia turvallisuudesta. Kustannusten minimoiminn marginaalikustannus on yhtä suuri kuin sen sosiaalinen hyöty. Koska voitosta aiheutuu yhteiskunnalle kustannuksia, asetetaan se nolllaksi, jolloin yrityksen osallistumisehto (5) on edelleen voimassa.

## 3 Optimaalinen säätely epätäydellisen informaation tapauksessa

Oletetaan nyt, että säätelijä ei voi havaita parametreja  $\beta, e_1$  ja  $e_2$ , mutta voi kuitenkin havaita kustannukset *ex post* sekä onnettomuudet. Kaikkein yleisin säätely voidaan ilmituloperiaatteen (revelation principle) mukaisesti ilmaista ilmitulumekanismina

$$t^c(\beta), t^{nc}(\beta^*), C(\beta^*),$$

joka spesifioi jokaiselle tunnusluvulle  $\beta^*$  kustannukset  $C(\cdot)$  sekä yritykselle maksetun nettovoiton tapauksessa että onnettomuutta ei tapahdu  $t^{nc}(\cdot)$  ja onnettomuuden tapahtuessa  $t^c(\cdot)$ . Nyt yrityksen odotettu hyöty on:

$$(6) \pi(e_2)t^{nc}(\beta^*) + (1 - \pi(e_2))t^c(\beta^*) - \psi(\beta - C(\beta^*) + e_2).$$

Kannustimet turvallisuudesta huolehtimiseen ovat riittävät, jos

$$(7) \pi(1)t^{nc}(\beta) + (1-\pi(1))t^c(\beta) - \psi(\beta - C(\beta) + 1) \geq \\ \pi(0)t^{nc}(\beta) + (1-\pi(0))t^c(\beta) - \psi(\beta - C(\beta)) \quad \forall \beta.$$

Merkitään:

$$(8) U(\beta) = \pi(1)t^{nc}(\beta) + (1-\pi(1))t^c(\beta) - \psi(\beta - C(\beta) + 1).$$

Tällöin yritys raportoi parametrin  $\beta$  totuudenmukaisesti, jos

$$(9) \partial U(\beta) / \partial \tau = -\psi(e_1(\beta) + 1), \\ (10) \partial e_1(\beta) / \partial \tau \leq 1,$$

missä  $\partial x / \partial \tau$  kuvaa muuttujan  $x$  muutosta ajassa  $\tau$ . Edelleen yrityksen hyödyn on oltava ei-negatiivinen:

$$(11) U(\beta) \geq 0 \quad \forall \beta.$$

Sääteijä maksimoi yhteiskunnan hyvinvointia näiden kannustinrajoitteiden ja yrityksen osallistumisrajoitteen (4) alaisena. Olkoon  $F(\cdot)$  kertymäfunktio, jolla on positiivinen tiheys  $f(\cdot)$  välillä  $[\beta_{\min}, \beta_{\max}]$  ja joka kuvaa sääteijän priori-näkemystä parametrissa  $\beta$ . Tällöin yhteiskunnan odotettu hyvinvointi on

$$(12) \int [S - (1 - \pi(e_2(\beta)))E - (1 + \lambda)(\beta - e_1(\beta) + \psi(e_1(\beta) + e_2(\beta))) - \lambda U(\beta)] dF(\beta).$$

Rajoitteista (9) ja (11) seuraa

$$(13) U(\beta_{\max}) \geq 0.$$

Jätetään toistaiseksi rajoite (10) huomiotta ja keskitytään rajoitteisiin (7), (9) ja (13). Rajoite (7) voidaan kirjoittaa muotoon

$$(14) [\pi(1) - \pi(0)][t^{nc}(\beta) - t^c(\beta)] \geq \psi(e_1(\beta) + 1) - \psi(e_1(\beta)).$$

Kannustin turvatoimiin riippuu nyt erotuksesta  $t^{nc}(\beta) - t^c(\beta)$ . Koska voitosta luopuminen aiheuttaa kustannuksia, voidaan yritykselle maksettavaa siirtosummaa  $t$  aina sopeuttaa alaspäin kunhan ei-negatiivisuusehto (13) pysyy voimassa. Siksi

$$(15) U(\beta) = \int \psi'(e_1(\beta) + 1) d\beta^*$$

ja ehto (14) voidaan pitää voimassa siten, että ehdoista (14) ja (8) saadaan

$$(16) U(\beta) = t^c(\beta) + [\psi(e_1(\beta) + 1) - \psi(e_1(\beta))] (\pi(1) - \pi(0))^{-1} - \psi(e_1(\beta) + 1)$$

ja siten myös

$$(17) t^c(\beta) = \int \psi'(e_1(\beta) + 1) d\beta^* \\ - \{1 - \pi(1) + \pi(0)\} \psi(e_1(\beta) + 1) - \psi(e_1(\beta)) \{ \pi(1) - \pi(0) \}^{-1}.$$

Maksimointi  $e_1$ :n suhteen tuottaa edelleen:

$$(18) \psi'(e_1(\beta) + 1) = 1 - (\lambda / (1 + \lambda)) \\ (F(\beta) / f(\beta)) \psi''(e_1(\beta) + 1).$$

Jos onnettomuusriski on monotoninen (eli jos  $(d/d\beta)(F(\beta)/f(\beta)) > 0$ ) nähdään ehdosta (18), että  $e_1$  on vähenevä ja siksi toisen asteen ehto (10) on voimassa. Siksi ehto (14) ja yhtälöt (17) ja (18) karakterisoivat optimaalista ratkaisua silloin, kun parametrien  $\beta^*$  ja  $e_2$  samanaikaiset poikkeamat eivät ole merkittäviä. Näin on, jos  $H1: \beta_{\max} - \beta_{\min} \leq (1 - \pi(1)) \psi'(0) (\pi(1) - \pi(0))^{-1}$ .

**Tulos 2.** Jos  $H1$  ja onnettomuusriskin monotonisuusehto ovat voimassa, optimaalisen säätelyn sisäpisteratkaisulle epätäydellisen informaation tapauksessa pätee:

(i) voiton ja tehokkuuden välistä valintaa karakterisoi yhtälö (18);

(ii) yritykset saavat pitää monopolivoittonsa paitsi tapauksessa  $\beta = \beta_{\max}$ .

(iii) yritykselle siirretyt voitot ovat erisuuret sen mukaan, tapahtuuko onnettomuus vai ei (ehdot (14) ja (17)).

Perinteisesti säätelymalleissa säätelijä vähentää tehottomimpien yksikköjen kannustimia kustannussäästöihin pienentääkseen tehokkaimpien yksikköjen saamia voittoja. Vain kaikkein tehokkain yksikkö ( $\beta = \beta_{\min}$ ) valitsee saman kustannustehokkuuden kuin täydellisen informaation tapauksessa. Vain kaikkein tehottomin yksikkö ( $\beta = \beta_{\max}$ ) jää ilman voittoa.

Yhtälön (15) yrityksen voittolauseke ( $U = \psi'$ ) on sama kuin tapauksessa, jossa turvatoimia ei huomioida. Marginaalisuuretta  $\psi'$  arvioidaan nyt kuitenkin argumentin arvolla  $e_1 + 1$ , jolloin  $e_1$  on alhaisempi ja kustannukset suuremmat kuin tapauksessa, jossa ympäristöriskiä ei ole.

Kannustin turvallisuuteen muodostuu yrityksen saaman voitto-osuuden erosta sen mukaan, tapahtuuko onnettomuus. Tämän ei tarvitse aiheuttaa säätelijälle ylimääräisiä kustannuksia. Joissakin tapauksissa on tarpeen onnettomuustapauksissa jopa maksaa yritykselle negatiivinen voitto-osuus eli vaatia siltä korvauksia. Korvausvaatimus on kuitenkin ristiriidassa useimpien yritysten rajoitetun vastuun kanssa. Siksi viemme analyysia eteenpäin lisäämällä siihen rajoituksen tulonsiirtojen ei-negatiivisuudesta kaikissa tapauksissa.

#### 4 Optimaalinen säätely epätäydellisen informaation ja rajoitetun vastuun tapauksessa

Yhtälöstä (17) näemme, että sellaisille  $\pi(1)$ :n arvoille, jotka ovat riittävän lähellä  $\pi(0)$ :aa, onnettomuustapauksissa yrityksen saama voitto-osuus on negatiivinen eli yrityksen edellytetään maksavan korvauksia. Seuraavassa oletamme yritysten vastuun olevan rajattu siten, että optimissa  $t^*(\beta) = 0$  kaikilla  $\beta$ :n arvoilla. Vaihtoehtoisesti voidaan olettaa, että onnettomuustapauksissa säätelijä ei voi pakottaa yritystä maksamaan korvauksia. Nyt on siis vain yksi siirtosumma  $t(\beta)$ , jonka yritys saa

siinä tapauksessa, että onnettomuus ei tapahdu. Yrityksen hyöty on tällöin

$$(19) U(\beta) = \pi(e_2)t(\beta) - \psi(e_1 + e_2).$$

Kannustinrajoitteet kustannusparametrim  $\beta$  oikealle raportoinnille ovat kuten edellä. Turvatoimien kannustinehto saa nyt muodon:

$$(20) \pi(1)t(\beta) - \psi(e_1(\beta) + 1) \geq \pi(0)t(\beta) - \psi(e_1(\beta))$$

tai vaihtoehtoisesti

$$(21) U(\beta) \geq [\pi(0)\psi(e_1(\beta) + 1) - \pi(1)\psi(e_1(\beta))] [\pi(1) - \pi(0)]^{-1} = \zeta(\beta).$$

Säätelijän optimointiohjelma on:

$$\max_{\{e_1, e_2, U\}} \int [S - (1 - \pi(e_2(\beta)))E - (1 + \lambda)(\psi(e_1(\beta) + e_2(\beta)) + \beta - e_1(\beta)) - \lambda U(\beta)] dF(\beta)$$

rajoitteilla

$$(22) \partial U(\beta) / \partial \tau = -\psi'(e_1(\beta) + e_2(\beta)),$$

$$(23) \partial e_1(\beta) / \partial \tau \leq 1,$$

$$(24) U(\beta_{\max}) \geq 0$$

sekä (21). On syytä havaita, että jos todennäköisyydet  $\pi(1)$  ja  $\pi(0)$  ovat lähellä toisiaan, kannustinrajoite (21) on voimassa kustannusparametri  $\beta$ :n korkeimmalla arvolla  $\beta_{\max}$  vain, jos myös kaikkein tehottomin yritys voi saada osan ylijäämästä. Rajoite (21) voidaan pitää voimassa ehdolla  $\beta = \beta_{\max}$  asettamalla

$$(25) U(\beta_{\max}) = [\pi(0)\psi(e_1(\beta) + 1) - \pi(1)\psi(e_1(\beta))] [\pi(1) - \pi(0)]^{-1}$$

ja ratkaisemalla optimointiongelma kuten edelläkin. Optimaalista monopolivoiton ja tehokkuuden välistä valintaa kuvaa edelleen yhtälö (18) jos ratkaisu  $e_1^*(\cdot)$  on sellainen, että rajoitteen (21) oikea puoli ( $\zeta(\beta)$ ) on ei-vähenevä funktio. Silloin rajoite (21) on voimassa jos  $\beta = \beta_{\max}$  ja muissa

tapauksissa se ei ole sitova. Riittävät ehdot sille, että funktio  $\zeta(\beta)$  on ei-vähenevä, sisältyvät seuraavaan oletukseen:

H2 Olkoon  $k=\psi''(e^*)$  ja  $\psi'(e^*)=1$ . Tällöin  $1/k \geq \pi(1)/[\pi(1)-\pi(0)]\psi'(1)$ .

Lopuksi oletetaan (oletus H3), että todennäköisyys  $\pi(0)$  on riittävän pieni siten, etteivät parametrien  $\beta^*$  ja  $e_2$  samanaikaiset poikkeamat ole kannattavia.

Tämän jakson tulokset voidaan tiivistää seuraavalla tavalla:

**Tulos 3.** *Jos oletukset H2 ja H3 ovat voimassa ja jos lisäksi onnettomuusriskifunktio on monotoninen, poikkeaa sisäpisteratkaisu epätäydellisen informaation ja rajoitetun vastuun tapauksessa rajoittamattoman vastuun tapauksesta (tulos 2) siten, että kaikki yritykset ml. tehottomin saavat nyt ylimääräisen voitto-osuuden  $U(\beta_{\max}) = \sup\{0, \zeta(\beta)\}$ .*

Tuloksen intuitiivinen tulkinta on seuraava. Jotta myös tehottomimmalla yrityksellä olisi riittävä kannustin huolehtia turvallisuudesta, on sillekin annettava positiivinen voitto-osuus siinä tapauksessa että onnettomuutta ei tapahdu. Jotta kannustin kustannustehokkuuteen säilyisi, on tehokkaammille yrityksille annettava tätä suurempi voitto-osuus. Samalla niiden kannustin huolehtia turvallisuudesta lisääntyy.

### 5 Vakuutus ja sääätely

Tähän asti olemme implisiittisesti oletaneet, että ympäristöriskin  $E$  onkantanut kokonaan riskineutraali sääätelijä. Olettakaamme nyt, että ympäristöriskin joutuvat kantamaan riskiä kaihtavat talouden toimijat. Jakson 3 tulos voidaan ymmärtää seuraavalla tavalla: riskineutraali sääätelijä tarjoaa täydellisen vakuutuksen, jonka kustannus on  $(1-\pi(e_2))E(1+\lambda)$ . Moral hazard -ongelma ei aiheuta ylimääräisiä kustannuksia, koska riskineutraalisuus ja rajoittamaton vastuu mahdollistavat sellaisen

kannustinrakenteen, joka johtaa oikeaan turvatoimien tasoon ilman ylimääräisiä tehokkuustappioita. Toisin käy silloin, kun yritysten vastuu on rajoitettu. Tällöin moral hazard -mahdollisuus lisää kaikkien säädeltyjen yritysten saamia monopolivoittoja. Nyt laajennamme analyysia kahteen suuntaan. Ensinnä tarkastelemme riskiä kaihtavia yrityksiä, sitten tapausta, jossa vakuutusyhtiö ja sääätelijä ovat eri toimijoita.

#### 5.1 Riskiä kaihtavat yritykset

Tarkastellaan yksinkertaista tapausta, jossa  $\beta$  voi saada vain kaksi arvoa ( $\beta_{\min}, \beta_{\max}$ ) ja jossa  $v = \Pr(\beta = \beta_{\min})$  on todennäköisyys, että yritys on tehokas. Yritys on riskiä kaihtava. Sen hyötyfunktio on

$$(26) u_i^j = u(t_{1,i} - \psi(e_{1,i}^j + e_{2,i}^j)), u(0) = 0, u' > 0, u'' \leq 0,$$

missä  $j = \min, \max$  ja  $i = \min, \max$ .

Yritysten kannustinrajoitteet voidaan kirjoittaa yleiseen muotoon

$$(27) \pi(1)u_i^{nc} + (1-\pi(1))u_i^c \geq \max\{\pi(e_2)u_i^{nc} + (1-\pi(e_2))u_i^c\}, \\ e_2 \in \{0, 1\}$$

Yritysten osallistumisrajoitteet ovat muotoa

$$(28) \pi(1)u_i^{nc} + (1-\pi(1))u_i^c \geq 0.$$

Yhteiskunnan hyvinvointifunktio on

$$(29) W = S - (1-\pi(1))E - \\ (1+\lambda)[v(\pi(1)t_{\min}^{nc} + (1-\pi(1))t_{\min}^c + C_{\min}) + \\ (1-v)(\pi(1)t_{\max}^{nc} + (1-\pi(1))t_{\max}^c + C_{\max})] + \underline{U},$$

missä  $\underline{U}$  on yrityksen odotetun hyödyn varmuusekvivalentti hyötytaso.

Hyvinvointifunktion (29) maksimointi rajoitteilla (27) ja (28) ei ole helppoa. Ratkaisussa käytämme vakioidun absoluuttisen riskiaversion hyötyfunktioita  $(1-e^{-px})/p$ , joka neutralisoi tulovaikutukset. Rajoitus (28) tehokkaan yrityksen tapauksessa

seuraa rajoitteesta (27) sekä tehottoman yrityksen osallistumisrajoitteesta, jonka voidaan olettaa olevan sitova (joskin riskiaversio mahdollistaa periaatteessa myös ei-stiivuuden, ks. *Laffont-Rochet* 1993). Yritysten kannustinrajoitteet (27) määrittävät pienimmät mahdolliset erot voitto-osuuksien  $t_i^{nc}$  ja  $t_i^c$  välillä sekä tehokkaissa että tehottomissa yrityksissä. Jos oletamme, että kannustinrajoite (27) ei ole sitova tehokkaan yrityksen tapauksessa (eli sen kannattaa aina panostaa turvallisuuteen), jää meille 4 yhtälöä (yhtälöt (27) ja (28) eri tapauksissa) ja 6 tuntematonta:  $C_{min}, C_{max}, t_{min}^{nc}, t_{max}^{nc}, t_{min}^c, t_{max}^c$ . Muuttujat  $t_{min}^{nc}, t_{max}^{nc}, t_{min}^c, t_{max}^c$  voidaan ratkaista muuttujien  $C_{min}, C_{max}$  funktioina.

Oletetaan aluksi, että  $\pi(1)=1$  eli että turvatoimien tuloksena onnettomuutta ei tapahdu. Tällöin pätee se klassinen tulos, jonka mukaan tehokkaan yrityksen säästötoimien (effort) vastaa optimitasoa (first best). Tehottomassa yrityksessä taas näin ei ole. Tavanomaisen tehottomuustekijän lisäksi nyt myös yrityksen riskiaversio heikentää sen ponnisteluja tehokkuuden hyväksi. Riskin kaihtamisen vuoksi varmuusekvivalentti voitto on pienempi kuin odotettu voitto. Tämän vuoksi yrityksen paino yhteiskunnan hyvinvointifunktiossa on ikäänkuin  $1-\epsilon$ . Koska edelleen aiheutuu hyvinvointimenetyksiä yritykselle siirrettävän ylijäämän vuoksi (joiden kerroin on  $1+\lambda$ ), on yrityksen saaman voiton paino hyvinvointifunktiossa  $-(\lambda+\epsilon)$ .

Kun  $\pi(1)<1$ , turvatoimetkaan eivät riitä eliminoimaan onnettomuusriskiä kokonaan. Toisin kuin edellä nyt on paitsi *ex ante* -riski, myös *ex post* -riski. Turvatoimiin kannustava ero yritysten saamien voitto-osuuksien välillä eri tapauksissa riippuu erotuksesta  $\psi(e_1+1)-\psi(e_1)$ , joka pienenee  $e_1$ :n pienentyessä. Tästä seuraa, että riskiaversio vähentää turvallisuuden edistämisestä säätelijälle aiheutuvia kuluja.

Tärkein tässä hahmotellun ratkaisun piirre on se, että riskiaversio vähentää yritysten pyrkimystä alentaa kustannuksia. Riskiaversion kasvaessa saattaa käydä, että myös tehottomin yritys saa positiivisen voitto-osuuden samoin kuin rajoitetun vastuun tapauksessa edellä.

## 5.2 Useampi päämies

Tähän asti olemme olettaneet, että riskineutraali säätelijä tarjoaa parhaimman riskinjaon riskiä kaihtaville talousyksiköille. Vakuutus on tällöin pakollinen ja se sisältyy samaan kokonaisuuteen säätelyn kanssa. Oletetaan nyt, että säätelijän ja vakuuttajan roolit eriytetään eri päämiehille. Näiden välisen koordinaation puute voi aiheuttaa lisää tehottomuutta.

Vakuutusyhtiö valitsee odotetun hyvinvoinnin maksimoivien sopimusten joukosta sopimukset  $(t_{max}, C_{max}), (t_{min}, C_{min})$ , joita säätelijä tarjoaa. Sitten vakuutusyhtiö ratkaisee optimaaliset vakuutusmaksut  $P_{min}^{nc}, P_{min}^c, P_{max}^{nc}, P_{max}^c$ .

$$(30) \max_{\{P_i^j\}} v[\pi(1)u_{min}^{nc} + (1-\pi(1))u_{min}^c] + (1-v)[\pi(1)u_{max}^{nc} + (1-\pi(1))u_{max}^c],$$

missä  $u_i^j = u(t_i - P_i^j - \psi(\beta_i - C_i + 1))$ ,  $i = \min, \max$  ja  $j = nc, c$ . Maksimoivien rajoitteena ovat kuten edelläkin yritysten osallistumisrajoitteet (yritysten odotetun hyödyn on oltava ei-negatiivinen) ja kannustinrajoitteet (turvatoimista huolehtimisen on oltava kannattavaa niiden laiminlyöntiin verrattuna) sekä vakuutusyhtiön budjettirajoite:

$$(31) v[\pi(1)P_{min}^{nc} + (1-\pi(1))P_{min}^c] + (1-v)[\pi(1)P_{max}^{nc} + (1-\pi(1))P_{max}^c] = (1-\pi(1))E.$$

Samalla tavoin säätelijä ottaa vakuutusmaksut  $P_{min}^{nc}, P_{min}^c, P_{max}^{nc}, P_{max}^c$  annettuina ja maksimoi yhteiskunnan hyvinvointifunktiota em. rajoitteilla. Jälleen voi erilaisia tehottomuuksia ilmaantua. Talous voi juuttua tasapainoon, jossa turvallisuuden ei panosteta. Esimerkiksi jos  $t_{min}$  ja  $t_{max}$  ovat liian pieniä ei panostusta  $e_2$  turvatoimiin palkita riittävästi. Tällöin yritys valitsee tason  $e_2=0$  ja vakuutusyhtiö asettaa maksuksi  $P_{min} = (1-\pi(0))E$  riskiaversion takia. Tällaisessa tilanteessa säätelijällä ei ole mitään välinettä, jolla voitaisiin päästä parempaan tasapainoon, jossa  $e_2=1$ .

Vaikka olettaisimme olevamme alunperin hyvässä tasapainossa ( $e_2=1$ ) ja vakuutus olisi siten

toiminut parhaalla tavalla, säätely voi olla tehottomampaa, koska rajoitteita on nyt enemmän kuin aiemmissa tapauksissa. Tämä johtuu siitä, että agentti (eli säädelty yritys) voi valehdella molemmille päämiehille. Jos vielä lisäämme tähän tapaukseen yritysten rajoitetun vastuun, on seurauksena se tunnettu ongelma, että yrityksen ei kannata ottaa vakuutusta ympäristövahinkojen varalta lainkaan, koska se vahingon sattua menee joka tapauksessa konkurssiin.

## 6 Johtopäätökset

Asteittain komplisoituvien mallien avulla olemme näyttäneet, kuinka moral hazard -ongelma, rajoitettu vastuu, riskiaversio ja useampi päämies vaikeuttavat monopolien säätelystä ja lisäävät yleisön riskejä. Kaikki mainitut piirteet yhdessä tekevät vakuutusongelman ratkaisun vaikeaksi. Tässä esiin tulleisiin ongelmiin voimme vielä lisätä ne, jotka liittyvät riskitodennäköisyyksien epätasällisyyteen ja sen, että todennäköisyyksien pienuus asettaa koko odotetun hyödyn teorian käyttökelpoisuuden kyseenalaiseksi.

Tärkeimmät johtopäätökset ovat: ensinnäkin em. ilmiöt johtavat siihen, että kannustinjärjestelmien tulee olla ainoastaan lievästi kustannustehokkuuteen kannustavia (low powered incentive schemes). *Kustannustehokkuudesta joudutaan tinkimään turvallisuustavoitteen hyväksi.* Toiseksi suurten ympäristöriskien vakuuttamista ei voida jättää markkinoiden huoleksi. Monopolien säätelijän ja vakuutusjärjestelmän välillä tarvitaan mahdollisimman paljon koordinaatiota.

Jää nähtäväksi miten lopputuotemarkkinoiden kilpailullisuus vaikuttaisi tuloksiin. Jos kilpailu johtaa kustannusten minimointiin poistamalla monopolivoitot, voi käydä niin, että turvallisuutta laiminlyödään enemmän. Tällöin pakollinen vakuutusjärjestelmä olisi enemmän kuin tarpeen. *Ex ante* kilpailu voi olla hyödyllistä. Huutokaupalla säätelijä voi olennaisin osin saada selville yritysten kustannustehokkuuden (ainakin tämän todennäköisyys kasvaa yritysten lukumäärän myötä) ja painaa alas monopolivoittoa. Kannustimet turvalli-

suuden ylläpitoon voidaan muodostaa helposti huutokaupan jälkeen. Kuitenkin *ex post* kilpailu voi tehdä turvatoimet kalliimmiksi ja lopputuloksena voi olla Nash-tasapaino, jossa turvatoimien taso jää riittämättömäksi. Jatkotutkimuksen tarkoituksena on laajentaa analyysia kilpailullisten markkinoiden suuntaan.

(Suomennos: Jaakko Kiander)

## Kirjallisuus

- Baron, D. & D. Besanko (1987): "Monitoring, moral hazard, asymmetric information and risk sharing in procurement contracting", *Rand Journal of Economics*, 18, 509-532.
- Baron, D. & D. Besanko (1988): "Monitoring of performance in organizational contracting: the case of defence procurement", *Scandinavian Journal of Economics*, 90, 329-341.
- Gabel, M.L. & B. Sinclair-Desgagné (1993): "Managerial incentives and environment compliance", *Journal of Environmental Economics and Management*, 24, 229-240.
- Glickman, T.S. & D. Golding (1992): "Recent trends in major disasters and industrial accidents", *Resources*, 108, 9-13.
- Grigalunas, T.A. & J.J. Opaluch (1988): "Assessing liability for damages under CERCLA: a new approach for providing incentives for pollution avoidance?", *Natural Resources Journal*, 28, 509-533.
- Laffont, J.J. & J. Tirole (1993): *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, MIT Press, Cambridge.
- Laffont, J.J. & J.C. Rochet (1993): "Regulation of risk averse firms", moniste, IDEI.
- Opaluch, J.J. & T.A. Grigalunas (1984): "Controlling stochastic pollution events through liability risks: some evidence from OCS leasing", *Rand Journal of Economics*, 15, 142-151.
- Strand, J. (1992): "Environmental accidents under moral hazard and limited liability", *Discussion paper no. 22*, University of Oslo.