

# Kaivostoiminnan ympäristövaikutusten hallinta ja ohjaus: taloustieteellinen näkökulma\*

Markku Ollikainen

*Ympäristöekonomian professori*

*Taloustieteen laitos, Helsingin yliopisto*

## 1. Taustaa

Kiinan, Intian ja muiden kehittyvien maiden voimakas talouskasvu synnytti vuoden 2009 jälkeen maailmaan merkittävän kaivannaisten kysyntäbuumin. Metallimalmien kysyntä kasvoi nopeasti ja myös niiden hintataso nousi. Teräksen, nikkelin ja sinkin hinta kolminkertaistui ja kuparin hinta jopa viisinkertaistui. Kaivannaistoiminnan kannattavuuden kasvu heijastui myös Suomeen. Ulkomaiset investoinnit kaivostoimintaan kasvoivat merkittävästi ja useita kaivoshankkeita aloitettiin. Vielä useampia hankkeita on parhaillaan tulossa. Ennusteiden mukaan metallimalmien lousinta kasvaa Suomessa nykyisestä 37 miljoonasta tonnista aina 70 miljoonaan tonniin ja kaivosalan liikevaihto 800 miljoonasta 2500 miljoonaan euroon vuoteen 2016 mennessä (Hernesniemi 2011).

Kysynnän kasvu oli osittain ennakoitavissa. Kaivannaisten kysyntäpiikkejä on ollut ennenkin (Freebairn 2012). Myös Suomi reagoi toi-

mintaympäristön muutokseen uudistamalla *kaivoslakinsa* ja *mineraalistrategiansa*. Suomeen toivottiin kansainvälisiä investointeja, ja niitä saatiinkin. Kaivoslain ja mineraalistrategian uudistamisen tavoitteena oli turvata, että kaivostoiminnan laajeneminen toteutuisi hallitusti ja kestävästi. Viime aikojen tapahtumat ja keskustelu viittaavat kuitenkin siihen, että paljon mietittävää jäi. Julkisessa keskustelussa on kysely onko oikein, että kaivokset ovat ulkomaisessa omistuksessa, miksi yhteiskunta ei peri kaivoksen omistajilta minkäänlaista korvausta ehtyvien mineraaliresurssien käytöstä ja kuinka on mahdollista, että Talvivaaran kaivoksen kaltaisia luparajojen ylitysten tai kipsisakka-altaiden vuotojen aiheuttamia ympäristöongelmia voi syntyä.

Keskustelu ja ongelmat Suomessa eivät ole olennaisesti erilaisia kuin muualla. Kaivosbuumi koettelee yhtäläillä suurilla kaivosmailla, kuten Kanadalla ja Australialla (Barber and Jackson 2012). Silti Australia ja Kanada (myös Ruotsi ja Norja) ovat Suomea pidemmällä mineraalipolitiikan kehittämisessä ja kaivosten ympäristö-

\* Kirjoitus perustuu Taloustieteellisen yhdistyksen seminaarissa ”Suomalaista luonnonvara- ja ympäristöpolitiikkaa” 22.10. 2012 pidettyyn esitelmään.

ohjaamisessa. Kansainvälisessä keskustelussa onkin korostettu, että suuret kansainväliset kaivosalan yritykset toimivat usein muissa kuin omilla maissaan ei-kestävillä tavoilla ja mielellään maissa, joilla ei ole kokemusta kaivosalan tehokkaasta ympäristöohjaamisesta (Earthworks and MiningWatch, Canada). Siksi on tärkeää, että kaivostoiminnan järjestämisestä ja vaikutuksista keskustellaan mahdollisimman perusteellisesti.

Kaivostoimintaan liittyviä kaikkialla maailmassa tärkeitä teemoja ovat kaivostoiminnan ympäristövaikutukset, luonnonvaraverotus, yritysten yhteiskunnallinen vastuullisuus, kaivostoiminnan vaikutus paikallisyhteisöihin sekä alkuperäiskansojen oikeuksiin. Nämä teemat palautuvat kaivostoiminnan ympäristölliseen kestävyys- ja sosiaaliseen hyväksyttävyyteen. Taloustieteellinen tutkimus on tähän saakka keskittynyt ennen muuta luonnonvaraverotuksen teemoihin (esim. Freebairn ja Quigging 2012 ja Ergas ym. 2010). Laajemmasta, kokonaistaloudellisesta näkökulmasta on pohdittu myös kaivostoiminnan roolia taloudellisessa kehityksessä luonnonvarakirouksen, Hollannin taudin ja korruption teemojen alla (van der Ploeg 2011).

Keskityn tässä artikkelissa tarkastelemaan erityisesti metallimalmien kaivostoiminnan monilukuisia ympäristöhaasteita taloudellisen analyysin näkökulmasta. Kaivokset ovat merkittäviä maiseman muuttajia, louhintajätteiden synnyttäjiä sekä ilma- ja vesistö päästöjen aiheuttajia. Kaivosten ympäristövaikutukset kohdistuvat ensimmäiseksi paikallisiin asukkaisiin, mutta ilmasto- ja vesistövaikutukset voivat lopulta ulottua laajalle. Läheisten ja kauempana olevien vesistöjen tila voi heikentyä monenlaisen päästöjen vuoksi ja ravintoketjuihin kasautuvista metalleista voi syntyä ajassa kumuloitu-

va haitta. On siis tärkeää, että kaivostoiminnassa hallitaan hyvin ympäristöasiat ja yhteiskunta ohjaa kaivoksia ympäristöllisesti ja taloudellisesti järkevällä tavalla.

Metallimalmit ja mineraalit ovat taloudellisessa käytössä loppuunkuluvia uusiutumattomia luonnonvaroja, jotka tuottavat louhijalleen luonnonvaravoittoja, rojalteja. Rojaltien verotus on tärkeä kansallisvarallisuuden tuottojen jakamista koskeva teema. Suomessa rojalteja ei veroteta, vaan ne kotiutetaan pääosin ulkomaille, koska pääosa kaivoksistamme on ulkomaisessa omistuksessa, kuten tuonnempana nähdään. Rojaltien verotuksella on yhteys myös ympäristövaikutuksiin, koska louhittava ja jalostettava määrä vaikuttaa ympäristöön tulevaan kokonaiskuormitukseen. Yhteiskunta voi vaikuttaa louhinta-asteeseen resurssiverotuksen avulla, mikäli se kohdistaa rojalteihin ei-neutraalia verotusta. Jotta kaivostoiminnan ohjaus olisi yhteiskunnallisesti optimaalinen, malmien louhinta-astetta ja ympäristövaatimuksia tulisi tarkastella yhtäaikaisesti. Taloudellista tutkimusta ympäristöasioiden hallinnasta osana kaivoksen toimintaa ei Suomessa ole. Tutkimus on yllättävän niukkaa myös kansainvälisessä kirjallisuudessa (ks. kuitenkin Farzin 1996 ja White ym. 2010 sekä kaivoksen lopettamisen ongelmista Sullivan ja Amacher 2009). Sen vuoksi tässä esityksessä tavoitteena on enemmän hahmottaa ne kaivoksen elinkaarivaiheet, joihin liittyy merkittäviä ympäristöä koskevia ratkaisuja sekä tarkastella, kuinka ohjausta niihin voidaan kohdistaa. Lähtökohtaisesti voi todeta, että keskeinen kaivostoimintaa ohjaava asiakirja on ympäristölupa, jossa määritellään muun muassa päästöjen raja-arvoja, kuormitusta ehkäiseviä rakentamistapoja ja myös tekniikkaan liittyviä seikkoja. Lupa kokoo ohjauksen eri aspektit yhdeksi asiakirjaksi.

Taloudellisen tarkastelun avulla voidaan tuottaa ymmärrystä siitä, milloin kaivosluvassa on järkevää käyttää raja-arvoja, milloin taloudellisia ohjauskeinoja ja kuinka mitoittaa kumpikin. Tarkastelen aluksi lyhyesti, kuinka laajamittaista kaivostoimintaa Suomessa on ja siirryn sen jälkeen keskustelemaan kaivostoiminnan suhteesta ympäristöön.

## 2. Kaivostoimialan tilasta Suomessa

Kaivosala hyödyntää maassa olevia mineraalivaroja. Ne voidaan jakaa kolmeen ryhmään: *metallit*, *ei-metallit* ja *energiamineraalit*. Viimeksi mainituista Suomesta löytyy ainakin uraania, mutta metallisten ja ei-metallisten mineraalien esiintymät ovat kylläkin taloudellisesti merkittävimpiä. Suomessa louhittavat mineraalit ovat lähinnä perusmetalleja ja jalometalleja. Ei-metalleista louhitaan muun muassa apatiittia (Siilinjärvi, tulevaisuudessa mahdollisesti Sokli), maasälpää ja talkkia. Keskityn tässä lähinnä metallimalmien hyödyntämisen tarkasteluun.

Suomen kaivostoimialan taloudellista potentiaalia on voi havainnollistaa vaikkapa Eu-

roopan unionin kaivosalaa koskevien arvioiden valossa. EU on metallimalmien merkittävä nettotuotoja (Tiess 2010). Se on omassa strategiasaan luokitellut malmit niiden tärkeyden mukaan. Kolme tärkeintä kategoriaa (suluissa löydettäviä metalleja kussakin luokassa) ovat ”erittäin kriittiset metallit” (14), ”taloudellisesti erittäin merkittävät metallit” (11) ja ”taloudellisesti merkittävät metallit” (15) (European Commission 2010). Taulukkoon 1 on koottu Suomessa hyödynnettäviä malmeja EU:n kolmiportaisen luokittelun mukaan.

EU:n 40 tärkeimmästä metallista yhteensä 17:ssä on Suomessa tuotantoa tai tuotantosuunnitelmia (kaivosprojekteja). Yllä mainittujen metallimalmien ohella Suomessa louhitaan kultaa useissa kaivoksissa, mutta sinänsä taloudellisesti merkittävä kultaa ei kuulu EU:n kolmeen tärkeimpään metallimalmin kategoriaan. Suomen kaivostoiminnan potentiaali EU:n puitteissa on joka tapauksessa merkittävä. Kaivosala onkin yksi harvoista kasvavista toimialoista Suomessa.

Taulukkoon 2 olen koontanut vuonna 2012 toiminnassa olleet kaivokset Suomessa. Taulukkoon on kirjattu kaivoksen nimen ohella Suomessa toimivan yrityksen sekä emoyrityksen

Taulukko 1. Suomessa hyödynnettäviä erittäin kriittisiä ja taloudellisesti merkittäviä metallimalmeja

Erittäin kriittiset (14)		Taloudellisesti erittäin merkittävät (11)		Taloudellisesti merkittävät (15)	
koboltti	tuotantoa	kromi	tuotantoa	hopea	kaivosprojekteja
niobium	kaivosprojekteja	mangaani	kaivosprojekteja	kalkkikivi	tuotantoa
platinaiset	kaivosprojekteja	nikkeli	tuotantoa	kupari	tuotantoa
		rauta	kaivosprojekteja	kvartsi	tuotantoa
		sinkki	tuotantoa	litium	kaivosprojekteja
		vanadiini	kaivosprojekteja	maasälpä	tuotantoa
				talkki	tuotantoa
				titaani	kaivosprojekteja

Lähde: Suomen mineraalistrategia.

Taulukko 2. Suomessa vuonna 2012 toiminnassa olevat kaivokset ja niitä hallinnoivat yritykset ja emoyhtiöt

Kaivos, kunta	Yrityksen nimi	Emoyhtiön nimi	Pääarvoaineet
Suurikuusikko, Kittilä	Agnico-Eagle Finland	Agnico-Eagle Mining Ltd. (CA)	kulta
Hitura, Nivala	Belvedere Mining	Belvedere Resources Ltd. (CA)	nikkeli, kupari, koboltti, platina, palladium
Pahtavaara, Sodankylä	Lapland Goldminers	Lapland Goldminers AB (SE)	kulta
Kevitsa, Sodankylä	Kevitsa Mining	First Quantum Minerals (CA)	nikkeli, platina, kupari, kulta
Kemi, Keminmaa	Outokumpu Chrome	Outokumpu Oyj (FI)	kromi
Jokisivu, Huitinen*)	Polar Mining	Dragon Mining Ltd. (AU)	kulta
Orivesi*)	Polar Mining	Dragon Mining Ltd. (AU)	kulta
Pyhäsalmi, Pyhäjärvi	Pyhäsalmi Mine	Inmet Mining Corporation (CA)	kupari
Talvivaara, Sotkamo	Talvivaara Sotkamo	Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj (FI)	nikkeli, sinkki, uraani
Pampalo, Ilomantsi	Endomines	Endomines AB (publ) (SE)	kulta
Laiva, Raahe	Nordic Mines	Nordic Mines AB (SE)	kulta
Kylylahti, Polvijärvi	Kylylahti Copper	Altona Mining Ltd. (AU)	kupari, koboltti, nikkeli, sinkki

\*) Kaivosten malmien rikastuslaitos sijaitse Sastamalassa.

Lähde: PwC 2012

nimet. Siitä voidaan todeta, että vain kaksi kaivoksista on kotimaisessa omistuksessa, muiden yritysten emoyhtiöt löytyvät Ruotsista, Australiasta ja Kanadasta. Kotimaiset yritykset ovat Outokumpu ja Talvivaara.

Pääosa kaivoksista ja uusista kaivoshankkeista sijaitsee Keski- ja Pohjois-Suomessa. Kaivosten alueellinen sijainti korostaa kaivostoiminnan roolia kehitysalueiden talouden elvyttäjänä. Mainittakoon kuriositeetin vuoksi, että Suomen pohjoisin kaivos, Kittilän Suurkuusikko, sijaitsee saamelaisalueen rajan eteläpuolella, joten ainakaan toistaiseksi kansainvälisesti paljon esillä oleva alkuperäiskansojen oikeuksien teema ei meillä ole ajankohtainen. Sen sijaan on esitetty huoli, että kaivosvaltausten laajat pinta-alat voivat heikentää poronhoi-

don toiminnan ehtoja (kaivosten, varausten ja varaushakemusten piirissä on yli 10 prosenttia Suomen pinta-alasta ja merkittävä osa siitä juuri Pohjois-Suomessa, Sodankylän ja Kittilän alueilla).

Suomessa toiminnassa olevien kaivosten ympäristövaikutuksista eniten huomiota on saanut Talvivaara, mutta myös Kittilän Suurkuusikon mahdollisista pohjavesivaikutuksista sekä Jokisivun kultakaivoksen jätevesistä kannettu huolta. Talvivaaran kokemat ympäristöongelmat ovat harmillisia myös siinä mielessä, että juuri tällä kotimaisella kaivoksella on potentiaalia kehittyä maailmanluokan nikkelikäivökseksi ja merkittäväksi muidenkin perusmetallien tuottajaksi. Talvivaara on monimetallikaivos, joka on perustettu erittäin laajaperäi-

sen, joskin rikasteisuudeltaan alhaisen nikkeli-esiintymän varaan, mutta esiintymästä saadaan nikkelin ohella sinkkiä, kuparia, kobolttia ja uraania. Tähän saakka kaivos on tuottanut vain nikkeliä ja sinkkiä. Uraanin talteenottolaitos on tarkoitus ottaa käyttöön 2013. Talvivaaran alueelliset työllisyysvaikutukset ovat mittavat. Käytän Talvivaaraa jatkossa esimerkkinä kaivoslupaohjauksesta.

### 3. Kaivoksen elinkaari ja ympäristö

Kaivostoiminnan ympäristövaikutukset syntyvät kaivostoiminnan eri vaiheissa. Kaivostoiminnan elinkaari on usein tapana hahmottaa seuraavasti (Kauppila ym. 2011). Elinkaaren ensimmäinen vaihe on esiintymäalueen varaus, malminetsintä ja valtaus. Tähän vaiheeseen ei useimmiten liity erityisiä ympäristövaikutuksia. Sen sijaan seuraavat kolme elinkaarivaihetta ovat tärkeitä ympäristön kannalta.

Elinkaaren toinen vaihe on kaivoksen rakentaminen. Tässä vaiheessa luodaan kaivoksen infrastruktuuri ja tuotantotoiminnan puitteet sekä luodaan kaivannaisten läjitysalueet ja rikastehiekka-altaat. Infrastruktuurin luomiseen liittyy massiivisia maansiirtotoimia. Sivukivien läjitysalueiden ja erityisesti rikastehiekka-altaiden pohjien huolellinen perustaminen on tärkeää muun muassa jätevesien karkaamisen ehkäisemiseksi, kuten Talvivaaran tapahtumat osoittavat. Rikastushiekkaa varten rakennetaan padotusaltaat, jotka suojataan pohjavesiltä. Rakentamisvaiheessa järjestetään myös jätevesien juoksumat ja puhdistus. Sivukivien sijoittaminen oikein edellyttää, että pohjan kestävyys selvitetään ja turvataan. Tässä vaiheessa ratkaistaan myös pinta- ja suotovesien ohjaamisen haasteet.

Kolmas elinkaaren vaihe koskee itse tuotantoa, joka kattaa malmin louhinnan, eli malmin irrotuksen kallioperästä sekä malmin rikastamisen (arvoaineksen erottaminen muusta kiviaineksestä). Malmin rikastus alkaa murskaamisella, jossa malmi hienonnetaan varsinaista rikastusprosessia varten. Rikastusprosessi on oma teollinen prosessinsa, jossa arvoaineet erotetaan joko mekaanisesti tai kemiallisesti. Tässä vaiheessa tarvitaan murskaus-, jauhatus-, vaahdotus-, liuotus-, sakeutus- ja suodatuslaitteita. Tuotantovaiheeseen kuuluu lisäksi rikasteiden kuljettaminen jatkojalostettavaksi. Tuotantovaiheen ympäristövaikutukset liittyvät täten energian kulutukseen ja siitä aiheutuviin ilmapäästöihin sekä maailmallakin hankalasti hallittavaksi osoittautuneeseen vesistökuormitukseen.

Kaivoksen elinkaaren viimeinen vaihe on toiminnan lopettaminen ja jälkihoito eli ympäristön tilan riittävä seuranta. Kaivokset pyritään lopettamaan niin, että myös uudelleen avaaminen on mahdollista sivukivien uusio-käyttönä, mikäli raaka-aineen hinta on noussut tasolle, jossa sivukivien käyttö tulee kannattavaksi. Ympäristön kannalta tärkeää on maise-manhoito (erityisesti avolouhokset), pohjavesien valvonta sekä pintavesien seuranta, koska on olemassa riski, että kemikaalit leviävät rikastealtaista pohja- ja pintavesiin.

Kaivoksen rakentamista, tuotantoa ja sulkemista ohjaa yleisen lainsäädännön lisäksi varsin konkreettisesti kaivoksen ympäristölupa. Siinä määritetään infrastruktuuria, rakentamista, jätteiden sijoittamista ja päästöjen hallintaa koskevat keskeiset seikat. Lupa mitoitetaan vuositaiselle louhintamäärälle. Kaivoksen ympäristölupa on lähinnä monitahoiseen määrärajoitushjaukseen perustuva kokonaisinstrumentti. Se määrittää esimerkiksi vesiin ja ilmaan tule-

vien päästöjen sallitut raja-arvot, raakaveden käyttömäärät ja jätevesien laskemisen sekä sisältää keskeiset vaatimukset sivukivien läjitys- ja rikastehiekka-altaiden rakentamiselle ja pin- ta- ja suotovesien käsittelylle.

Esimerkiksi Talvivaaran kaivokselle ympäristöluvassa on asetettu raja-arvoja kipsisakka- altaan ylivuotovesien metallipitoisuudelle (nik- keli 0,5 mg/l, kupari 0,5 mg/l, sinkki 1,5/mg/l ja kiintoaine 10 mg/l). Happamoitumista aiheuttaville sulfaateille säätelijä ei asettanut raja- arvoa, koska katsoi, ettei niistä aiheudu ympä- ristöhaittaa. Raja-arvoa ei asetettu myöskään magnaani-alle, joka voi aiheuttaa allergisia reaktioita. Luvassa kuitenkin mainitaan Talvivaaran esittämät alkuperäiset arviot sulfaattien, suolan ja magnaani- osalta ( $\text{SO}_4$  170 mg/l, Na 130 mg/l sekä Mg 0,7 mg/l). Metallien osalta Talvi- vaara on saavuttanut raja-arvot hyvin. Toimin- nan kehittämisen haasteet liittyvät kiintoainee- seen (kuormitus vuonna 2011 oli keskimäärin 82 mg/l) sekä sulfaattien ja natriumin suureen määrään, mikä johtuu runsaasta lipeän käytös- tä (Talvivaaran ympäristölupa sekä Pöyry Oy:n selvitys Talvivaaran uutta ympäristölupaa var- ten). Talvivaara ehdotti alkuperäisessä hake- muksessa sulfaattirajaksi 170 mg/l, mutta kuor- mitus oli vuonna 2011 noin 8000mg/l. Syksyn 2012 kipsisakka- altaan merkittävään vuotoon liittyvät ongelmat johtuivat ilmeisesti siitä, että altaisiin varastoitui hapanta vettä, joka oli pe- räisin louhoksessa säilytyistä ylijäämävesistä. Tämä oli ehkä yllätys sekä kaivokselle että val- vovalle viranomaiselle.<sup>1</sup>

#### 4. Kaivoksen ympäristövaikutusten ohjaus talousteorian valossa

Kaivostoimintaan liittyy monenlaisia ilma- ja vesistö- päästöjä. Lisäksi louhinnasta ja raskaas- ta liikenteestä koituu tuntuva melua. Melu on esimerkki kaivostoiminnan aiheuttamista ns. virtapäästöistä. Virtapäästöiksi kutsutaan pääs- töjä, jotka eivät kasaudu luontoon, vaan aihe- uttavat haittaa sillä ajanhetkellä, jolloin niitä esiintyy. Kaivoksen ravintoketjujen huipulle kasautuvat metallipäästöt ovat puolestaan esi- merkki luontoon kasautuvista päästöistä, myös rehevöittävä ravinnekkuormitus voidaan tulkita kasautuvaksi päästök- si. Luontoon kasautuvat päästöt aiheuttavat ajassa kasvavaa haittaa. Kai- vostoiminnan ympäristösäätelyn tulee kattaa molemmat päästötyypit.

Tarkastelen seuraavassa dynaamisen mallin valossa, millaisia piirteitä kaivoksen ympäristö- vaikutusten ohjaukselta vaaditaan. Esitys pe- rustuu Farzinin (1996) malliin, jossa on läsnä sekä virta- ja varantohaitat.

Merkitään louhittavaa ehtyvän luonnonva- ran varantoa symbolilla  $X$  ja olkoon  $x$  vuosit- ain louhittava määrä. Luonnonvaran louhinta- kustannus riippuu luonnonvaran määrästä ja louhinta-asteesta,  $C(x, X)$ . Merkitään päästöistä koituvaa haittaa symbolilla  $D$ . Olkoon haitta esityksen yksinkertaisuuden vuoksi funktio sekä päästöjen vuosittaisesta nettovirrasta  $z(t)$  että niiden luontoon kertyvistä varannoista  $S(t)$ . Päästöt syntyvät osana tuotantoprosessia ja ne määritellään louhitun yksikön aiheutta- man ominaiskuormituskertoimen ( $\varepsilon$ ) avulla määräksi  $\varepsilon x$ . Osa päästöistä puhdistetaan (puh- distusta kuvataan symbolilla  $a$ ) puhdistuspro- sessissa, jolloin nettopäästöt luontoon ovat  $z(t) = \varepsilon x - a(t)$ . Luontoon kasautuva kuormitus riippuu nettopäästöistä:  $S(t) = z(t)$ . Kaivoksen

<sup>1</sup> Talvivaaran tapauksesta on laadittu erillinen selvitys, ks. Turpeinen ja Rainio (2013).

päästöistä koitua haitta voidaan nyt ilmaista seuraavasti:  $D(z(t), S(t))$ . Merkitään vielä yrityksen puhdistuskustannusta  $e(a)$ .

Tarkastellaan yhteiskunnan suunnittelijan dynaamista optimointiongelmää täydellisen informaation oloissa. Olkoon yhteiskunnan aika-preferenssi  $\rho$  ja yhteiskunnan hyvinvointifunktio intertemporaalinen summa tuottajan ja kuluttajan ylijäämästä täydennettynä ympäristöhaitan arvostuksella. Yhteiskunnan suunnittelija ratkaisee ongelman: maksimoi yhteiskunnan hyvinvointi louhinnasta ja päästöjen puhdistuksesta yli ajan.

$$(1) \quad \text{Max } W = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left[ \int_0^x p(s) ds - C(x, X) - e(a) - D(z, S) \right] dt$$

ehdolla

$$X = x$$

$$S(t) = z(t)$$

ja relevantit ei-negatiivisuusrajoitukset.

Menemättä ratkaisun yksityiskohtiin, voidaan todeta, että yhteiskunnallisesti optimaalista ratkaisua luonnehtii kullakin periodilla yhtälöpari

$$(2) \quad p - C_x = \lambda + D_z + \mu$$

$$(3) \quad e_a = D_z + \mu.$$

Optimiehtojen tulkinta on suoraviivainen. Yhtälön (2) mukaan louhinta-aste tulee valita niin, että luonnonvaran nettohinta vastaa louhinnan varjohintaa  $\lambda$ , virtasaasteen rajahaittaa ( $D_z$ ) ja luontoon kumuloituvan saasteen varjohintaa  $\mu$ . Varjohinta  $\lambda$  kuvaa sitä kustannusta, jonka yhden yksikön louhinta nyt aiheuttaa tulevien tuottojen menetyksen muodossa, kos-

ka resurssi on rajallinen. Varjohintaa kutsutaan yleisesti resurssin niukkuushinnaksi tai rojaliksi ja se kuvaa resurssin arvoa louhimattomana maassa. Saasteen varjohinta puolestaan kuvaa saastevarannon kasvun aiheuttamaa rajahaittaa kullakin periodilla.

Yhtälö (2) johtaa ympäristöllisesti modifioitun Hotellingin sääntöön uusiutumattoman resurssin louhinnalle. Yhtälö (3) kuvaa päästöjen puhdistusta, jonka tulee kullakin periodilla vastata saastumisen virta- ja varantorajahaittojen summaa.

Yksityinen kaivos ei ota huomioon ympäristövaikutuksia ilman ympäristöohjausta, joten yhtälöt (2) ja (3) supistuvat muotoon

$$(4) \quad p - C_x = \lambda$$

$$(5) \quad e_a \leq 0$$

Yhtälö (4) on määrittää välttämättömän ehdon malmin louhinnalle kullekin periodille ja siitä voidaan tuottaa Hotellingin louhintasääntö: louhinta-aste tulee valita niin, että nettohinta kasvaa diskonttokoron osoittamaa vauhtia. Ilman ohjausta kaivos ei puhdistaa päästöjään. Vertaamalla yhtälöitä (4) ja (5) yhtälöihin (2) ja (3) nähdään, että optimaalinen Pigouin vero ( $\tau$ ), jolla yhteiskunnallinen ja yksityinen ratkaisu saadaan identtiseksi, on

$$(6) \quad \tau = D_z + \mu$$

Analyysin pääopetus on, että kaikki relevantit ulkoisvaikutukset on otettava huomioon ja sisäistettävä ohjauksen avulla. Jos kaivostoiminnasta aiheutuu kumuloituvia päästöjä, optimaalinen Pigouin vero ottaa huomioon sekä *virtasaasteiden* rajahaitan että päästöjen kumuloitumisen, *varantohaitan* rajavaikutuksen.



Mallin optimit ja optimaalinen politiikka on johdettu *first-best* -tilanteessa. Kaivostoiminnan ympäristöohjaus on kuitenkin käytännössä luonteeltaan *second best* -politiikkaa, koska malmin louhintasuunnitelmat otetaan annettuna ja ympäristöohjaus mitoitetaan annetun louhintasuunnitelman kapasiteetin mukaan. *Second-best* -politiikka edellyttää, että annetulla louhinta-asteella ohjataan malmin prosessointia ja rikastusta (puhdistustoimet louhinnan ja rikastuksen yhteydessä) niin, että päästöt rajoittuvat halutulle tasolle. Yhtälö (6) on politiikan avainasemassa: vaikka päästöjä olisi useita, optimaalinen ohjaus noudattaa samaa periaatetta kuin yhtälössä (6). Milloin ohjaaminen tulisi suorittaa verolla, milloin määrärajoitteilla on erikseen pohdittava seikka – ohjauksen luonne on kuitenkin sama.

Farzinin malli ohjaa analysoimaan, kuinka hyvin nykyisten ympäristölupien raja-arvot heijastavat virta- ja varantohaittojen luonnetta. Se ei kuitenkaan sisällä kaivoksen sulkemista ja jälkihoitoa, eikä valvonta- ja rankaisupolitiikkaa. Kansainvälinen kirjallisuus osoittaa, että myös kaivoksen sulkemiseen ja jälkihoitoon voi liittyä ongelmia, jos ohjaus ei ole riittävän huolellisesti mitoitettu esimerkiksi taloudellisten vastuiden suhteen (ks. White ym. 2012). Näiltä osin tarkastelua tulee laajentaa ja tutkimuksella on mahdollisuus myös kiinnostaviin teoreettisiin kontribuutioihin.

Taloudellisen tutkimuksen ja ohjauksen taloudellisten perusteiden selvittämisen haasteita on paljon. Selkeää käsitystä ei ole siitä, kuinka merkittävää vahinkoa eri metallien kumulatiivinen kuormitus luonnossa aiheuttaa ja kuinka kansalaiset tämän haitan kokevat. Samaa koskee sulfaatteja. Esimerkiksi Talvivaaran luvassa ei vastoin yrityksen toivomuksia asetettu sulfaatille varsinaista raja-arvoa. Ilmeisesti viran-

omainen katsoi, etteivät vesistöjen happamointumista aiheuttavat sulfaatit aiheuta haittaa. Arvottamistutkimuksia eri päästöjen haitoista ei päätöksenteon tueksi ole, ja sama koskee tietoa liittyen kustannuksiin. Tutkimuksella on siis paljon tehtävää.

## 5. Johtopäätökset

Kaivostoiminta on eräs Suomen nopeimmin kehittyvistä toimialoista ja se tarjoaa erityisesti kehitysalueiden taloudelle merkittävän piristysruiskeen. On tärkeää, että kaivostoiminta laajenee taloudellisesti, ympäristöllisesti ja sosiaalisesti kestäväällä tavalla. Tästä vastuun kantavat yhtäläisesti kaivosyrittäjä ja ohjaava julkinen valta. Valitettavasti Suomi on valmistautunut huonosti kaivosalan kasvuun. Malmivarojen käytön säätelyn kannalta tärkeä resurssiverotus ei kuulu ohjauskeinovalikoimiin. Ympäristöohjaamisen suhteen avoimia kysymyksiä on paljon ja ilmeiseltä vaikuttaa, että niin viranomaiset kuin kaivoksetkin ovat tehneet päätöksiä puutteellisen tiedon nojalla. Kaivosyrittäjiltä voisi odottaa paljon nykyistä avoimempaa ja aktiivisempaa kanssakäymistä paikallisten asukkaiden ja suuren yleisön kanssa. Viranomaisilta tulee edellyttää nykyistä merkittävästi asiantuntevampaa ja päämäärätietoisempaa ohjausta. Tutkimuksella on tärkeä sija tämän viranomaisotteen tehostamisessa. □

## Kirjallisuus

Barber, M. ja Jackson, S. (2012), ”Indigenous engagement in Australian mine water management: The alignment of corporate strategies with national water reform objectives”, *Resources Policy* 37: 48-58.



- European Commission (2010), *Critical raw materials for the EU*, Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. European Commission, [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf)
- Ergas, H., Harrison, M. ja Pincus, J. (2010), "Some economics of Mining Taxation" *Economic Papers* 29: 169-383.
- Farzin, Y. (1996), "Optimal pricing of environmental and natural resource use with stock externalities", *Journal of Public Economics* 62: 31-57.
- Freebairn, J. ja Quiggin, J. (2010), "Special Taxation of the Mining Industry", *Economic Papers* 29: 384-396.
- Freebairn, J. (2012), "Mining booms and government budgets", *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 56: 210-221.
- Hernesniemi, H. (2011), *Kalliosta kullaksi – kumusta klusteriksi*. Kaivannaisalan vaikuttavuusselvitys, Etna B252, Helsinki.
- Kauppila, P., Räisänen, M-L. ja Myllyoja, S. (toim.) (2011), *Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt*, Suomen ympäristö No. 29/2011.
- PwC (2012), "The Finnish Mining Industry. An Overview – 2012", <http://www.pwc.fi/fi/julkaisut/tiedostot/pwc-mining-overview-october2012.pdf>
- Sullivan, J. ja Amacher, G. (2009), "The social costs of mine-land restoration". *Land Economics* 85: 712-726.
- Suomen mineraalistrategia*. [www.mineraalistrategia.fi/etusivu/](http://www.mineraalistrategia.fi/etusivu/)
- Tiess, G. (2010), "Mineral policy in Europe: Some recent developments", *Resources Policy* 35: 190-198.
- Turpeinen, A. ja Rainio, R. (2013), *Talvivaaraselvitys*, Ympäristöministeriön raportteja 2/2013.
- van der Ploeg, F. (2011), "Natural Resources: Curse of Blessing", *Journal of Economic Literature* 49: 366-420.
- White, B., Doole, G., Pannel, D. ja Florec, V. (2012), "Optimal environmental policy design for mine rehabilitation and pollution with a risk of non-compliance owing to firm insolvency", *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 56: 280-301.