



Finanssimatematiikka – kestävä vai kestämatöntä kehitystä?

Esko Valkeila

Tämä artikkeli on hieman laajennettu versio puheenvuorosta, joka pidettiin Tekniikan Akateemisten Liiton TEK:n marraskuussa 2009 järjestämässä seminaarissa **Tekniikka – kestävä kehityksen kivijalka**. Kirjoittaja on matematiikan professori Aalto-yliopiston teknillisen korkeakoulun Matematiikan ja systeemianalyysin laitoksessa. Hän on opettanut ja tutkinut maattista rahoitusteoriaa runsaat kymmenen vuotta.

Kestävästä kehityksestä

Kestävä kehityksen luonnehdinta. Mitä tarkoitetaan kestäväällä kehityksellä? Asia selviää Ympäristöministeriön kestävä kehitystä käsitteleviltä www-sivuilta. Siellä luonnehditaan kestävä kehitys näin:

Taloudellinen kestävyys on sisällöltään ja laadultaan tasapainoista kasvua, joka ei perustu pitkällä aikavälillä velkaantumiseen tai varantojen hävittämiseen. Kestävä talous on edellytys yhteiskunnan keskeisille toiminnolle. Siihen pitkäjänteisesti tähtäävä talouspolitiikka luo otolliset olosuhteet kansallisen hyvinvoinnin vaalimiselle ja lisäämiselle.

Kestävällä pohjalla oleva talous helpottaa myös kohtaamaan vastaan tulevia uusia haasteita, kuten väestön ikääntymisestä aiheutuvia kasvavia sosiaaliturva- ja terveysmenoja. Kestävä talous on sosiaalisen kestävyysperusta. Sosiaalista kestävyttä vaalivat me-

kanismit taas auttavat osaltaan lievittämään niitä vaikeuksia, joita nopeasti muuttuvassa maailmantaloudessa voi syntyä.

Ei varmaan synny erimielisyyttä siitä, että nykyinen (Yhdysvalloista alkanut) finanssikriisi, johon liittyvät pankkien konkurssit ja varallisuuden sulaminen pankkien ja maiden toimijoiden peleissä, ei täytä kestävä kehityksen piirteitä.

Matemaatikot finanssipeleissä. Tarkastelen matemaatikon roolia näissä peleissä. Asenteeni on samantapainen kuin australialaisella ekonomistilla *Steve Keenillä* kirjassa *Debunking Economics: The Naked Emperor of the Social Sciences*. Keen on sitä mieltä, että teorian matematisointi auttaa jäsentämään teorian paremmin. Ongelma on siinä, että matematiikkaa käytetään usein huonosti ja väärin. (Myös matemaatikot voivat syyllistyä samantapaisiin virheisiin, jos he eivät ymmärrä sovellusta kokonaisuudessaan, vaan vain joidenkin osia.) Keen kiteyttää matematisointiin liittyvän ongelman matematiikan kannalta seuraavasti: *Jos asiat menevät pieleen, älkää ampuko minua, koska olen piano. Ampukaa sen sijaan pianisti.* Pianolla Keen tietysti tarkoittaa matematiikkaa ja pianistilla taloustieteilijää.

Kestävä kehitys pääomakäsittein. Kestävä kehitys on myös luonnehdittu taloudenpidon kannalta. Lainataan edelleen Ympäristöministeriön materiaalia:

1990-luvun lopulta lähtien Maailmanpankin pääjohta-

ja Ismail Serageldin muotoili kestävän kehityksen määritelmän talouspoliitikoille ymmärrettävään muotoon: *Kestävä kehitys tarkoittaa sitä, että jätämme tuleville sukupolville yhtä paljon mahdollisuuksia kuin meillä on ollut, ellei jopa enemmän. Mahdollisuudet voidaan tulkitä varallisuudeksi, vauraudeksi, pääomaksi, jota voidaan konkretisoida ja mitata neljän pääomalajin avulla. Suomessa tätä ajattelua on kehitellyt Valtion taloudellinen tutkimuslaitos.*

Neljä pääomalajia ovat

- (1) *inhimillinen pääoma (esim. osaaminen, tiede, tutkimus ja kehitys, patentit)*
- (2) *fyysinen pääoma (esim. tuotantokoneistot: infrastruktuuri, rakennettu ympäristö)*
- (3) *sosiaalinen pääoma (esim. lainsäädäntö, hallinto, sosiaaliset verkostot, luottamus ja legitimizeetti)*
- (4) *luontopääoma (uusiutuvat ja uusiutumattomat luonnonvarat)*

Kestävän kehityksen kannalta on tärkeää vahvistaa erityisesti inhimillistä ja sosiaalista pääomaa eli yhteiskunnan ja kansalaisten innovaatio- ja muutoksenhallintakykyä [ja] fyysistä pääomaa niin, ettei luontopääoma vähene, vaan se tuottaa ihmisille luontopalveluja sukupolvesta toiseen.

Finanssimaailmaa ei ole mainittu erikseen edellä esitettyssä listassa. Onko se osa esimerkiksi inhimillisestä tai sosiaalisesta pääomasta? Sosiaalista pääomaa luonnehditaan sellaisilla käsitteillä kuin luottamus ja legitimizeetti – ainakin näiden kahden asian puute liitetään usein sellaisiin analyysihin, joissa tarkastellaan viime aikojen tapahtumia finanssimarkkinoilla. Ehkä emme voi pitää finanssialaa osana sosiaalista pääomaa. Inhimillistä pääomaa puolestaan luonnehditaan sellaisilla määreillä, joiden voisi ajatella liittyvän finanssialan tutkimukseen, rahoitusteoriaan, ja sen matemaattiseen pikkuserkkueeseen, finanssimatematiikkaan.

Tarkastellaan aluksi yhtä rahoitusteoriaan liittyvää teoreettista käsitettä.

Finanssimatematiikasta tehokkailla markkinoilla

Tehokkaat markkinat. Tehokkaiden markkinoiden teorian mukaan osaketuotot noudattavat *satunnaiskulua*. Satunnaiskulku on sellainen stokastinen prosessi, missä kullakin ajanhetkellä todennäköisyydellä puoli siirtyään yksi askel ylöspäin, tai todennäköisyydellä puoli yksi askel alaspäin. Tämän teorian mukaan osakkeen nykyinen hinta kuvastaa osakkeen arvoon vaikuttavia tekijöitä. Hinnat muuttuvat tällöin uuden tiedon

tullessa markkinoille. Koska uutisen sisältö ja julkistamishetki ovat ennalta tuntemattomia, ovat hinnannuottoiset satunnaisia. Edelleen teorian mukaan epänormaalien sijoitustuottojen saaminen säännönmukaisesti on julkista tietoa hyväksikäyttäen mahdotonta. Sijoittaja voi saada sijoitustuottoa vain kantamansa markkinariskin suhteessa. Suurempaa tuottoa tavoittelevan on hyväksyttävä suurempi riski. Teoria on verifioitu kolmekymmentä vuotta sitten tehdyillä perusteellisillä ekonometrisilla tutkimuksilla.

Tehokkaat markkinat ja finanssimatematiikka.

Tehokkaiden markkinoiden teoria on ollut taustana sille kehitykselle, mikä finanssimatematiikassa on ollut viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana. Matematiikan avulla teoria on kirjoitettu siten, että eräillä keskeisillä rahoituksen teorian aksiomilla on matemaattinen vastineensa. Markkinoiden tehokkuudelle on löydetty matemaattinen vastike käyttämällä stokastisten prosessien teoriaa, erityisesti ns. martingaaliteoriaa. Toinen hämmästyttävä matemaattinen tulos on se, että vaikka tulevaisuutta ei voida ennustaa, niin tulevaisuudessa tapahtuville sitoumuksille voidaan laskea hinta jo tänään – tietysti tekemällä eräitä lisäoletuksia.

Näin siis tulevat riskit voidaan hinnoitella jo tänään. Esimerkkeinä voi mainita *futuurit*. Ne ovat sopimuksia, joissa myyjä lupaa myydä tietyn tuotteen ostajalle vaikkapa puolen vuoden kuluttua sovittuun hintaan. Näin esimerkiksi leipuri voisi ostaa ensi toukokuuksi vehnäfutuurin, ja hän tietäisi jo tänään, mitä hän joutuu ensi toukokuussa vehnästä maksamaan. Futuurin myyjä puolestaan joko voittaa tai häviää, riippuen siitä, mitä hän joutuu ensi toukokuussa vehnästä maksamaan. Futuurille on tyypillistä myös se, että sopimus on sitova. Futuureja on kaupattu jo satojen vuosien ajan.

Tuorempi esimerkki finanssimarkkinoilla myytävästä sopimuksesta on optio. Esimerkiksi myyntioption ostajalla on oikeus myydä tuote tiettyyn hintaan, ja myyjän on tämä hinta maksettava. Tällainen optio voisi kiinnostaa esimerkiksi telakkaa, joka on tehnyt sopimuksen laivan rakentamisesta. Hinta maksetaan dollareissa laivan valmistuttua kolmen vuoden kuluttua, ja telakka haluaa varmuuden siitä, että vaikka dollarin hinta putoaisi, niin se saa tarpeeksi euroja kolmen vuoden kuluttua. Mikäli dollarin kurssi on tarpeeksi korkea, niin telakka ei käytä optiota, mutta jos kurssi on alhaalla, niin telakka käyttää option ja turvaa saatavansa euroissa. (Näitä optioita ei tule sekoittaa johtajille annettuihin optioihin. Ne ovat lähinnä palkan osia.)

Valtaosa finanssimaailmaa koskevasta matemaattisesta mallinnuksesta olettaa, että markkinat ovat tehokkaat, ja mahdolliset pienet poikkeamat tästä tasapainoilasta korjautuvat nopeasti. Matematiikan kannalta viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana tehty tutkimus on ollut menestystarina. Ja tutkimusta tekevillä on se käsitys, että tutkimustyö on lähellä käytäntöä, vaikka se

olisikin melko teoreettista. Mielestäni voidaan todeta, että mikäli markkinat ovat pysyvästi tehokkaat, niin finanssimatematiikan tuloksia voidaan käyttää kestävän kehityksen ideologian mukaisesti: tulevaisuuden epävarmuuden pienentämiseksi, optimaalisen talousstrategian harjoittamiseksi pitkällä tähtäimellä... Aina on kuitenkin tehtävä se varaus, että matemaattisia menetelmiä soveltavien pitää ymmärtää, mitä he ovat tekevässä.

Tehottomat markkinat

Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi on viime aikoina menettänyt kannattajiaan. Tämä liittyy mm. Yhdysvaltojen asuntoluottokriisiin, ja tapahtumille on etsitty syyllisiä eri puolilta. Syyllisiksi on julistettu esimerkiksi amerikkalaiset, kiinalaiset, George W. Bush, Alan Greenspan, ahneet ja epärehelliset pankkiirit ja muut finanssimarkkinoilla toimivat henkilöt... sekä matemaatikot.

Kun lukee selostuksia asuntoluottokriisiin johtaneista syistä, niin hiukset nousevat pystyyn. Esimerkiksi lainanottajan luottokelpoisuus nousee, jos velaksi ostetun asunnon arvo nousee, ja hänelle saatetaan tarjota tämän perusteella uutta lainaa. Tästä puolestaan seuraa, että aluksi asuntojen hinnat nousevat voimakkaasti, koska yhä uusia ostajia houkuttelee ostamaan velaksi asuntoja. Muutaman vuoden kuluttua kupla kuitenkin puhkeaa, ja asunnon ostaja ei enää pysty vastaamaan lyhennyksistään eikä velkojen koroista. Lainan alunperin myöntänyt pankki on jo kuitenkin ehtinyt myydä lainapaketkinsa eteenpäin, eikä ehkä ole alunperinkään ollut kiinnostunut siitä, kuinka lainan ottaneet pystyvät suoriutumaan lainaan liittyvistä velvoitteista.

Paketoitujen lainojen riskejä pyrittiin mallintamaan jakamalla lainan ottavat ryhmiiin riskialttiuden mukaan sekä arvioimalla mahdollisten luottotappioiden todennäköisyyttä niiden korrelaatioihin perustuvalla matemaattisella kaavalla. Ehkä juuri tämän kaavan käytön takia matemaatikkoja on jopa syytetty talouteen liittyvien joukkotuhoaseiden suunnittelusta. Tämän kaavan käyttämistä, ehkä kuitenkin hieman rauhallisemmin, on selitetty talousjournalisti *Felix Salmonin* *Wired*-lehdessä maaliskuussa 2009 julkaisemassa artikkelissa *Recipe for Disaster: The Formula That Killed Wall Street*. Edellä mainitun kaavan avulla pyrittiin ottamaan huomioon se, että jos Pekka ei pysty vastaamaan lainansa sitoumuksista, niin todennäköisyys sille, että Paavo ei pysty myöskään vastaamaan oman lainansa sitoumuksista, kasvaa. Kaavan tarkempi tutkimus kuitenkin osoitti, että kaava ei myöskään onnistu kuvaamaan riippuvuutta kovin hyvin sillä alueella, missä luottotappiot syntyvät.

Salomonin artikkelissa todetaan, että matemaatikot varoittivat koko ajan tällaisten kaavojen käytön vaaral-

lisuudesta, kun heiltä älyttiin tätä kysyä. Varoituksia ei kuunneltu kahdesta syystä: päätöksiä tekevät johtajat eivät ymmärtäneet argumentointia, ja toiminta kannatti aluksi erinomaisesti.

Epästabiilien finanssimarkkinoiden teoriaa ei ole juuri kehitelty, ja niihin liittyvä matematiikka on ilmeisesti vielä lapsenkengissä. Toisaalta voi käydä myös niin, että kriisistä selvitään melko nopeasti, ja alan toimijoiden mielenkiinto selvittää epästabiiliuden syitä voi loppua nopeasti. Tällä hetkellä tätä kiinnostusta ilmeisesti vielä on. Monissa viimeistä finanssikriisiä käsittelevissä kirjoissa on kuitenkin mainittu amerikkalaisen taloustieteilijän *Hyman P. Minskyn* vuonna 1986 julkaisema teos *Stabilizing an Unstable Economy* lähestymistapana, jolla voisi teoreettisemmin selostaa nykyisen kriisin syitä. Minskyn perusteena on juuri se, että finanssimarkkinat ovat luonteeltaan epästabiilit.

Ja joku voisi ajatella myös toisin: jos korrelaatiokaava todella onnistuisi hävittämään Wall Streetin, niin eikö tämä juuri olisi kestävä kehitystä, koska Wall Street on esimerkki kestäättömästä kehityksestä. Kaavan kehittäjä ei kuitenkaan suunnitellut juuri tätä lopputulosta.

Kritiikin vaikeudesta

Finanssimaailman operaatioiden volyymit ovat valtavia. Esimerkiksi maailmassa käytävän valuuttakaupan yhden päivän volyymi on suunnilleen sama kuin koko maailman bruttokansantuote. Finanssialalla ajatellaan ilmeisesti siten, että työstä saatu korvaus on jossain suhteessa päivittäin liikuteltuihin rahamääriin. Tästä puolestaan seuraa, että keskeisten toimijoiden palkkiot ja bonukset ovat vähintään satakertaiset tavallisiin palkkoihin verrattuna (nämä luvut koskevat ainakin Yhdysvaltoja). Alasta hyötyvien asiantuntijoiden voi olla vaikea tästä syystä kritisoida alalla tapahtuvia väärinkäytöksiä tai ylilyönnejä. Lisäksi ajatellaan usein siten, että jos kritiikki tulee alan ulkopuolelta, niin se ei voi olla asiantuntevaa.

Matematiikka kestävä kehitystä tuke- massa

Eräänä ratkaisuna nykyisiin ongelmiin on ehdotettu, että finanssimalleihin tulee ottaa selvemmin mukaan säätely ja valvonta. Tämä ajatus sopii huonosti vapaan kilpailukapitalismin ideologiaan. Säätelyn ja valvonnan lisääminen finanssimarkkinoilla saattaa olla vaikea toteuttaa. Seuraavassa muutama esimerkki sellaisista tilanteista, joissa matemaatikot voisivat auttaa kestävän kehityksen tavoitteiden toteuttamisessa.

(1) Väestön ikääntyessä kasvaa tarve arvioida pitkän aikavälin eläke- ja terveystuloja. Tässä voi

käyttää esimerkiksi vakuutusmatematiikan menetelmiä yhdessä väestötieteen tilastollisten menetelmien kanssa.

- (2) Viime aikojen matemaattinen tutkimus on pyrkinyt kehittämään tapoja mitata erilaisia finanssimaailman riskejä. Rahoitusala saattaisi olla mahdollista vakaannuttaa näitä tuloksia käyttämällä.
- (3) Monissa muissa tekniikan sovelluksissa ohjataan ja/tai säädetään tuotantoprosessia. Finanssiteollisuus tarvitsee myös ohjausta, etenkin jos sen toivotaan toteuttavan kestävä kehityksen periaatteita.

Edustamani laitos on mukana Euroopan tiedesäätiölle tehdyssä hakemuksessa, jossa korostetaan kestävä kehityksen periaatteiden tärkeyttä myös finanssimatematiikan tutkimuksessa.

Lopuksi

Onko finanssimatematiikka esimerkki kestävästä kehityksestä? Vastaus on kyllä ja ei, riippuen vastaajasta. Matematiikan avulla kehitetään uusia menetelmiä finanssimaailmalle, ja niiden avulla voi yrittää tehdä pikavoittoja. Tässä joko onnistutaan tai sitten ei. Toisaalta matemaatikkojen kehittämällä menetelmillä voidaan myös vahvistaa kestävä kehitys finanssimarkkinoilla. Se, kuinka hyvin tässä onnistutaan, ei kuitenkaan riipu enää matemaatikoista, vaan koko yhteiskunnasta.

Yksi finanssikriisin opetuksia meille matemaatikoille on, että finanssimatematiikan opetuksessa on otettava huomioon se, että finanssimaailmaa koskevat taloustieteen mallit saattavat olla puutteellisia, eikä tällaisen mallin matematisointi poista mallin puutteita.