

Yksikköjuuriekonometrian tulokset ilman kyneleitä

MIKA LINDEN

professori

Helsingin yliopisto

G.S. Maddala and In-Moo Kim: Unit Roots, Cointegration, and Structural Change. Cambridge University Press, 1998, 504 sivua.

Ekonometrinen tutkimus taloudellisten aikasarjojen kanssa on kokenut suuren mullistuksen viimeisen kymmenen vuoden aikana. Yksikköjuuret ja yhteisintegroituvuus ovat olleet varsin laajan tutkimuksen kohteena. Sekä soveltavia että teoreettisia artikkeleita on julkaistu sadoittain, jopa tuhansia. Vaikkakin teema on tärkeä voidaan puhua jo tietyn asteisesta liikatarjonnasta, jossa uusien tulosten hyöty on korkeintaan marginaalinen. Esim. karkeasti arvioiden on olemassa jo n. 50–60 yksikköjuuritestiä, joista suurinta osaa kukaan ei tule koskaan käyttämään. Tämän tapaisia yhden teeman dominansseja vailla rationaalista perustaa on taloustieteessä esiintynyt aikaisemminkin (esim. rationaalisten odotusten hypoteesi, Granger-kauusaalisuustestit, peliteoria, utilitaristinen ammatiliittoteoria). Se mikä aikaansaa tällaiset kuplat on mielenkiintoinen tieteensosiologinen kysymys, johon tässä yhteydessä ei pyritä vastaa-

maan. Todettakoon kuitenkin, että ainakin aikasarjaekonometrian kohdalla yhden teeman dominanssi on haitannut muiden teemojen kehittymistä. Onneksi aivan viime aikoina, lähinnä alan johtavien nimien ansiosta, myös toiset aiheet ovat päässeet esille (esim. epälineaariset mallit ja ei-parametrinen estimointi).

Yksikköjuurikirjallisuus on tuottanut myös joukon oppikirjoja. On kuitenkin varsin yllättävää, että vasta nyt on aikaansaatu teos, jota voi suositella myös asiaan tarkemmin perehtymättömälle lukijalle. Monet aikaisemmin ilmestyneet teokset (esim. Banerjee et al.: *Co-Integration, Error-Correction, and the Econometric Analysis of Non-stationary Data* (1993), Hatanaka: *Time-series-based Econometrics: Unit Roots and Co-integration* (1996), Johansen: *Likelihood-Based Inference in Co-integrated Vector Autoregressive Models* (1995), Tanaka: *Time Series Analysis: Non-Stationarity and Non-Invertible Distribution Theory* (1996)) ovat olleet joko liian teknisiä tai valikoivia sisällön suhteen laajalle yleisölle. Maddalan ja Kimin teos on ensimmäinen systemaattinen teos koko teeman tiimoilta muodossa, joka ei vaadi

lukijalta suuria teknisiä valmiuksia. Tietenkin laajan kirjallisuuden suhteen on tehty valikointoja ja eräitä tärkeitä tuloksia on jäänyt vaille riittävää huomiota. Nämä puutteet tulevat korvatuiksi kirjoittajien selkeällä argumentoinnilla ja esitystyylillä, jossa ei kaihdeta esittämään omia, usein varsin perusteltuja, huomioita yksikköjuuriekonometrian järkevyydestä ja omituisuuksista. Huomattakoon, että teos jäi merkittävän ekonometrikon ja hyvien oppikirjojen tekijän G.S. Maddalan viimeiseksi teokseksi. Hän kuoli 60-vuotiaana alkuvuodesta 1999 (ks. Lahiri & Phillips: *Econometric Theory*, Vol. 15, August 1999).

Teos jakaantuu neljään osaan: I. Introduction and basic concepts (42 s.), II. Unit roots and cointegration (213 s.), III. Extension of the basic model (123 s.) ja IV. Structural change 100 s.), jotka jakaantuvat 16 kappaleeseen. Kunkin kappaleen lopussa on kattava kirjallisuusluettelo tärkeimmistä lähteistä. Osa I antaa johdannon yksikköjuuri-ilmioon ja esittelee keskeiset asiaan kuuluvat aikasarja-analyysin tulokset sekä analyyttisesti että graafisesti. Ongelmat, jotka liittyvät trendi- ja differenssistationaarisuuden (eli yksikköjuuri-ilmion eli $I(1)$ -prosessin eli stokastisen trendin!) erotteluun ja testaukseen tehdään selkeästi. Eri systeemimallien esitysmuodot ovat esillä (VAR, ECM, ADL) ilman raskaita matriisitodistuksia. Jo tässä vaiheessa lukija huomaa, että kirjoittajat ovat onnistuneet varsin hyvin yhdistämään verbaalisen ja matemaattisen esityksen muotoon, joka tekee tekstistä helposti omaksuttavan ja seurattavan.

Osa II muodostuu neljästä kappaleesta, joissa käsitellään yksikköjuuriekonometrian perustuloksia: yksikköjuuren testaus, yhteisintegroituvuusmallien estimointi, yhteisintegroituvuuden testaus ja yleinen regressiomalli $I(1)$ - ja $I(0)$ -muuttujien yhteydessä. Aluksi kirjoittajat antavat lyhyen johdannon Wiener-prosessista ja

sen käytöstä yksikköjuuri-ilmion yhteydessä. Vaikkakin tekstistä löytyy muutamia painovirheitä, esitys on paras ja selkein mitä olen nähnyt alan kirjallisuudessa tähän saakka. Lukija pystyy varsin pienin ponnistuksin omaksuma yksikköjuurikirjallisuudessa käytetyn analytiikan. Tämän jälkeen esitellään *Dickey-Fuller*-tyyppiset testit (DF-, ADF- ja *Phillips & Perron* testit, PP) ja niihin liittyvät ongelmat. Testien ongelma on siinä, että jos testimalli on deterministisiltä osiltaan yksinkertaisempi kuin testauksen kohteena olevan sarja niin testi ei ole konsistentti. Tämän takia pitäisi pystyä aina muotoilemaan testimalli siten, että se olisi vakio- ja trendikomponenttiansa suhteen joustavampi kuin testisarja. Tämä on kuitenkin käytännössä miltei mahdoton tehtävä. *Sargan-Bhargava* -testimalli on trendien käsittelyn suhteen onnistuneempi ratkaisu kuin DF-tyyppiset testit. Maddala ja Kim antavat varsin tylyn tuomion DF-testeille. He kirjoittavat »*Although often used, the DF and the ADF, and the PP tests lack power against meaningful alternatives and should not be used any more*» (s. 92). Tämän takia he esittelevät kappaleessa 4 koko joukon »toisenpolven» yksikköjuuri- ja stationaarisuustestejä, jotka ovat koko- ja voimakkuusominaisuuksiltaan parempia kuin DF-tyyppiset testit. Parhaaksi testimalliksi Maddala ja Kim löytävät *Leybournen* ja *McCaben* ratkaisut. Tämän jälkeen käsitellään ongelmia, jotka liittyvät sarjojen pituuteen ja tiheyteen. Sarjan pituus näyttäisi olevan tärkeämpi ominaisuus yksikköjuuren testaamisen kannalta kuin sen tiheys. Päinvastaisia tuloksia esiintyy kuitenkin. Paneeliaineistotestien tiimoilta kirjoittajat toteavat, että tähänastiset testiritiinit (esim. jostain syystä paljon käytetty *Levine-Lin* -testi) perustuvat liian rajoittaviin oletuksiin ja testaus sisältää kyseenalaisia piirteitä. Vasta *Im-Pesaran-Shin* -testi tai Maddalan *Fisher* -testi ovat riittä-

vän yleisiä kelvolliseksi paneeliaineiston yksikköjuuritestiksi. Huomattakoon, että Maddalan ja Kimin argumentointi perustuu heidän omiin laajoihin Monte Carlo- ja bootstrap -simulointeihinsa.

Kappaleet 5 ja 6 keskittyvät yhteisintegroituvuusilmiöön. Kirjoittajat ovat varsin kriittisiä koko yhteisintegroituvuusidea kohtaan. Tähän on monia syitä. Useita eri estimointi- ja testausmenetelmiä on esitetty, mutta mitään selkeitä tuloksia ei ole saatu aikaan sen suhteen mitä menetelmiä olisi syytä käyttää. Suositettu *Johansenin* menetelmä ei ole välttämättä paras. Kirjoittajat puoltavat *Box-Tiao* -proseduurin käyttöä. Itse yhteisintegroituvuusilmiö on puhtaasti tilastotieteellinen. Tämä näkyy parhaiten Johansenin menetelmän yhteydessä. Jos mallissa on useampia sarjoja kuin kaksi, niin yhteisintegroituvuusrelaatioita voi olla useita. Mikä näistä valitaan edustamaan taloustieteellisen mallin postuloimaa pitkän aikavälin relaatiota? Yleinen käytäntö on ollut se, että valitaan se mikä näyttää sopivan parhaiten taloustieteellisen mallin vaatimuksiin. Valintaa on kuitenkin vaikea puolustaa. Tavoitteena on oltava struktuurirelaatioiden testaaminen. Testaus on kuitenkin hankalaa, sillä ns. pre-test -ongelma estää harhattoman testauksen. Tällöin on kyse siitä, että struktuurirelaatioiden testit ovat riippuvia yksittäisten sarjojen yksikköjuuri- ja yhteisintegroituvuustestitulomista. Testitulokset ovat tällöin hyvin epävarmoja. Ongelmat kasaantuvat entisestään kun huomataan, että hyvin harvoin kaikki yhteisintegroituvuusmallin sarjat ovat samanlaisesti siistejä $I(1)$ -prosesseja kuin teoria olettaa. Sarjojen integroituvuus- ja ARMA-rakenteet vaihtelevat, ne sisältävät erilaisia deterministisiä komponentteja ja sarjojen havaintojen lukumäärä on miltei poikkeuksetta liian pieni, jotta teorian mukaisilla asympotoottisilla tuloksilla olisi jotain merkitystä. Täten empiirisiin yhteis-

integroituvuusmallien testituloksiin on syytä suhtautua hyvin varauksellisesti. Tulokset ovat liian monien asioiden kuormittamia ja epävarmuuden ehdollistamia.

Osan III kappaleet 8 ja 10 keskittyvät siihen miten näiden ongelmien kanssa olisi elettävä ja mitä niille olisi syytä tehdä. Maddala ja Kim puoltavat aktiivisesti bayesiläisten menetelmien käyttöä yksikköjuuritestauksen ja yhteisintegroituvuusilmiön tutkimisen yhteydessä. Bayesiläisellä lähtökohdalla on selvät edut puolellaan. OLS-estimaattorin jakauma on huomattavasti helpompi hallita Bayes-kehikossa kuin tavanomaisessa teoriassa. Tämän lisäksi ekonometrikot ovat kiinnostuneita sarjojen yksikköjuurikäytöksestä enemmän kuin stationarisesta kullusta. Miksi tätä apriorista vinoutuneisuutta ei huomioida testauksessa? Bayesiläiset ottavat tämän seikan vakavasti ja antavan tälle priori informaatiolle jakaumapainon yksikköjuuren testaamisessa. Yllätys on kuitenkin se, että tällöin löydetään harvemmin yksikköjuuria kuin perinteisillä testeillä. Bayesiläinen lähtökohta antaa myös välineet hallita pre-test- ja mallin valintaongelmat helpommin kuin tavanomainen lähestymistapa.

Toinen tapa hallita ongelmia on hyödyntää Monte Carlo- ja bootstrap-menetelmiä. Maddala ja Kim eivät käsittele Monte Carlo -lähestymistapaa vaan keskittyvät uudelleenotantamenetelmiin. Tässä yhteydessä kirjoittajien esitys olisi saanut olla hieman perusteellisempaa. Bootstrap-menetelmän peruslähtökohdan esittely jää liian pintapuoliseksi, jotta lukija pystyisi seuraamaan kaikkia yksikköjuurikokeiden yksityiskohtia. Maddala ja Kim korjaavat kuitenkin teemaan pesiytyneen virheellisen uskomuksen, että bootstrap-menetelmät olisivat ei-konsistentteja yksikköjuurien yhteydessä. Kyse on vain siitä, että bootstrap-menetelmä täytyy spesifoida oikealla tavalla, jotta tulokset olisivat

luotettavia. Kirjoittajat osoittavat vakuuttavasti vedoten omiin ja muiden tekemiin simulointeihin, että asymptoottisten tulosten käyttö johtaa harhaisiin tuloksiin pienissä otoksissa ja on syytä käyttää bootstrap-jakaumia tuloksien johtamisessa. Tämä tulema liittyy Maddalan ja Kimin laajempaa johtopäätökseen, että yksikköjuuritutkimuksessa on jo nyt riittävästi testejä ja estimaattoreita. Tarvitaan vain lisää kokemusta niiden käytöstä äärellisissä otoksissa. Ennen kaikkea pre-test -ongelma yhteisintegroivuuksimallien kohdalla vaatii huomattavasti lisätutkimuksia bootstrap-menetelmien avulla.

Kappaleet 9 ja 11 keskittyvät fraktionaaliseen (I(d) s.e. $0 < d < 1$) ja korkeamman asteen (I(d), s.e. $d = 2, 3, \dots$) integroituvuuteen. Teoria on edennyt varsin pitkälle näiden teemojen suhteen, mutta käytännön kokemukset ovat vielä varsin epäselviä. Syynä on se, että I(1)-testit ovat voimattomia fraktionaalisia juurta kohtaan ja I(2)-tilanteen mukaisia sarjoja on vaikeata löytää. Mikäli sarja on I(2) niin menneisyydessä tapahtuneilla shokeilla on km. suurempi merkitys sarjan tämän hetken arvossa kuin viimeaikaisilla shokeilla. Kappale 12 on pätevä katsaus kausivaihteluyksikköjuuriin ja -yhteisintegroituvuuteen. Pääopetus kappaleesta on se, että kausikomponentit on syytä ottaa vakavasti sarjoissa ja niiden mallintamiseen ja testaamiseen on syytä kiinnittää huomiota. Kausipuhdistettuja sarjoja ei ole syytä käyttää, sillä puhdistus vaikuttaa yksikköjuuri- ja yhteisintegroituvuustuloksiin.

Teoksen osa IV (kappaleet 12–14) keskittyy struktuurimuutoksiin sarjoissa. Laajasti struktuurimuutos tarkoittaa tilannetta, missä sarjan tai prosessin luonne muuttuu oleellisesti jonkin ajankohdan kohdalla tai sen jälkeen. Tämän tyyppisiä ilmiöitä ovat outlier-havainnot, trendien kulmakertoimien ja tason muutokset ja varianssivaihtelut. Näillä kaikilla on miltei sama

vaikutus yksikköjuuritestauksessa. Testit puoltavat virheellisesti yksikköjuuren olemassaoloa, vaikka sarja on esim. todellisuudessa stationaarinen lokaalisten trendien ympärillä. Ekonometrikot ovat olleet enemmän kiinnostuneita trendien kulmakertoimien ja tason muutoksista kuin outlier-havaintojen mallittamista, joka on ollut tilastotieteilijöiden alaa. Aikasarjojen yhteydessä seikalla ei ole suurta eroa, sillä tasosarjojen trendimuutokset näkyvät usein differenssisarjoissa outlier-havaintoina. Suurempi ongelma liittyy pitääkö muutokset mallintaa eksogeenisen tiedon avulla vai endogeenisena ilmiönä. Maddala ja Kim ottavat oikeaan osuneen kannan asiaan. Muutokset, jotka selkeästi näkyvät sarjoissa voidaan mallittaa annettuina, mutta muut (piilevät) muutokset on syytä jäljittää erilaisilla etsintäalgoritmeilla. He esittelevät aluksi tärkeimmät perinteiset struktuurimuutosmenetelmät (esim. CUSUM-, CHOW -testit ja vaihtuvaparametriset mallit). Tämän jälkeen esillä ovat monet uudet menetelmät, joissa pääpaino on löytää piilevät rakennemuutokset. Kappaleiden 13–14 rakenne ei ole täysin onnistunut, sillä ne sisältävät päällekkäistä materiaalia hieman oudossa järjestyksessä. Kappale 14 olisi voitu rakentaa yksinomaan robustien yksikköjuurimenetelmien (ei-parametriset menetelmät ja LAD-estimointi) esittelyn varaan ja outlier-analyysi olisi voitu laittaa trendimuutokkappaleen 13 alkuun. Tämä siksi, että robustit menetelmät eivät niinkään liity yksittäisten outlier-havaintojen tuomiin ongelmiin vaan litteisiin tai vailla varianssia oleviin aineistokaumiin.

Kappale 15 esittelee viimeaikoina jostain syystä muodikkaaksi muodostuneen MSR-mallin (Markov switching regression model), jonka Hamilton toi ekonometriaan 80-luvun lopussa. Empiiriset kokemukset mallin tiimoilta ovat vielä varsin epäselvät. On vaikeata sanoa, mitä

MSR-mallien diskreetit aineiston jakaumavaihdokset itse asiassa mallintavat. Maddala ja Kim katsovat, että struktuurimuutokset taloudellisessa aikasarjoissa ovat luonteltaan ei-äkkinäisiä, jolloin TVP-mallit (time varying parameter models) ovat oikeampi lähtökohta rakennemuutoksien analyysiin.

Viimeisessä kappaleessa (kpl 16) ei anneta mitään yhteenvetoa kirjan aiheista, vaan kirjoittajat antavat lyhyen listauksen mihin suuntaan yksikköjuuriekonometriaa on syytä kehittää. Esillä ovat seuraavat teemat: epälineaariset mallit, bootstrap- ja robustit metodit, pre-testing-probleema, bayesiläiset menetelmät, TVP-mallit, yhteisintegroituvuusmallien identifikaatio-ongelmat, stokastiset yksikköjuuret ja multiyhteisintegroituvuus. Tämän lisäksi he toteavat,

että »*What we do not need is more unit root tests*» (s. 488).

Kokonaisuudessaan kirjaa voidaan pitää hyvänä johdantona, esittelynä ja yhteenvetona paljon – ehkä liikaakin – tutkitun teeman tiimoilta. Kirja on kirjoitettu vuosien 1996–97 aikana, joten aivan viimeaikaisimmat tulokset esim. paneeliaineistomallien testauksen ja yksikköjuuritestien korjausmenetelmien kohdalta eivät ole mukana. Tämä ei tietenkään laske kirjan arvoa, sillä sen hyöty on siinä, että se muodostaa pätevän hakuteoksen ja kattavan katsauksen aiheensa perustuloksista ja ongelmakohdista. Teos on siis oivallinen oppikirja, josta tullaan päivittämään varmasti useita painoksia alan kehityksen myötä.