

## Yksikköjuuri vai ei, siinä pulma

PEKKA ILMAKUNNAS

Mikael Linden: *Studies in Integrated and Cointegrated Economic Time Series*, Suomen Tilastoseura, Tilastotieteellisiä tutkimuksia 15, Helsinki 1995

Innovaatioiden diffuusio on yksi kansantaloustieteen tutkimuskohteista. On mielenkiintoista tarkastella myös kansantaloustieteen omien innovaatioiden leviämistä tieteen harjoittajien keskuudessa. Yksikköjuuriekonometria on menetelmällinen innovaatio, joka on hämmästyttävän nopeasti levinnyt tieteenalan sisällä sekä teoreettisen ekonometrian tutkimuskohteena että empiiristen tutkijoiden työvälineenä.

Aiemmin ei juurikaan otettu huomioon sitä, että aikasarjojen mahdollinen epästationaarisuus aiheuttaa ongelmia ekonometristen mallien estimoinnissa. Kun tämä ongelma tiedostetaan, herää kysymys, voidaanko epästationaarisuutta testata tai aikasarjat muuntaa stationaarisiksi. Yksikköjuuriekonometria etsii vastausta tähän kysymykseen. Epästationaariset aikasarjat saattavat olla stationaarisia differenssimuodossa, ts. integroituneita. Vaihtoehtoisesti epästationaarinen aikasarja voi olla stationaarinen deterministisen trendin ympärillä. Tarkas-

teltaessa useita epästationaarisia, mutta integroituneita aikasarjoja yhdessä, lineaarinen kombinaatio niistä voi olla stationaarinen, jolloin aikasarjat ovat yhteisintegroituneita.

Vielä 1980-luvun alkupuolella empiirisissä väitöskirjoissakaan ei usein käytetty paljoakaan testejä. Nyt, vähemmän kuin vuosikymmen siinä, kun tutkimusala pääsi vauhtiin, yksikköjuuriekonometrian testit ja menetelmät ovat käytössä jo pro gradu-tutkielmissakin. Tähän nopeaan kehitykseen ovat vaikuttaneet mm. tietokoneiden ja valmiiden ohjelmistojen kehittyminen sekä ekonomistien ammattitaidon ja koulutuksen paraneminen. Oleellista menetelmien suosion leviämisessä on ollut se, että uusi lähestymistapa antaa yhtenäisen pohjan monille hieman erillään kehittyneille ekonometrian osa-alueille. Yksikköjuuriekonometria jatkaa myös luontevasti ekonometrian tutkimuksessa keskeisenä ollutta spesifikaatiotestauksen kehittämistä.

Vaikka uusi aikasarjaekonometria onkin mullistanut tavan tehdä empiiristä tutkimusta, on olemassa "ylilyönnin" vaara. Kun uutuuden viehäytys katoaa, ei artikkeleita saa julkaistua pelkästään sillä perusteella, että niissä käytetään uutta menetelmää eri aineistoihin. On esi-

tetty kriittisiäkin näkökulmia yksikköjuurien relevanttiuteen ja talousteorian ja uuden ekonometrian yhteennivominen on vielä lapsenkengissä. Tarkempi tutkimus eri testien ja estimointimenetelmien ominaisuuksista ja toisaalta tieteen sisäinen "luonnon valinta" määrittävät sen, mitkä lukuisista esitetyistä menetelmistä jäävät aktiiviseen käyttöön soveltavassa tutkimuksessa.

Mika Lindenin tutkimus on ensimmäinen suomalainen tähän aihepiiriin keskittyvä kansantaloustieteellinen väitöskirja. Tutkimus käsittelee viisi erillistä osaa, joista kolme keskittyy yksikköjuurien testaukseen ja kaksi yhteisintegroituvuuteen. Kaikki osatutkimukset ovat empiirisiä, mutta päähuomio ei ole niinkään siinä, mitä empiirisiä tuloksia jossakin tietyssä sovelluksessa saadaan, vaan siinä, miten eri testit ja menetelmät toimivat tyypillisissä tilanteissa. Siksi Linden on antanut paljon huomiota Monte Carlo -simuloinneille, joilla menetelmien ominaisuuksia voidaan tutkia pienissä otoksissa.

Taloudellisten aikasarjojen yksikköjuurien testauksella voidaan nähdä ainakin neljä tarkoitusta (ks. Stock: Unit roots, structural breaks and trends, Handbook of Econometrics, vol. IV, 1994). Ensinnäkin, tutkimusta siitä, onko aikasarjoilla deterministisiä ja/tai stokastisia trendejä voidaan käyttää aineiston ominaisuuksien havainnollistamiseen. Toiseksi, aikasarjan ominaisuuksia voidaan hyödyntää ennustekäytössä. Kolmanneksi, aikasarjojen ominaisuudet vaikuttavat siihen, mitä estimointi- ja mallitusmenettelyjä tulisi käyttää malleissa, joissa ko. muuttujat ovat mukana. Neljänneksi, aikasarjojen ominaisuuksia koskevat tiedot voivat vaikuttaa siihen millaiseksi talousteoria muotoutuu ja miten sitä testataan. Jos esimerkiksi havaitaan, että taloudelliset aikasarjat sisältävät tyypillisesti yksikköjuuria, tulisi muodostaa

sellaisia talousteorioita, jotka sisältävät tämän implikaation. Näistä neljästä aspektista Linden keskittyy lähinnä ensimmäiseen ja kolmanteen. Ennustemalleja ei työssä käsitellä ja talousteoreettiset johtopäätökset jäävät hyvin vähälle huomiolle.

Koska yksikköjuuriekonometrian keskeisiä tuloksia on se, että trendistationaaristen ja differenssistationaaristen aikasarjojen implikaatiot esimerkiksi estimointimenettelyille ovat erilaiset, olisi tarpeellista pystyä identifioimaan aikasarjoista, kumpaa tyyppiä ne ovat. Käytössä olevat testit eivät kuitenkaan pysty kovinkaan hyvin erottelemaan näitä tapauksia. Tämä on se ongelma, jota Linden tutkii väitöskirjansa kolmessa ensimmäisessä osassa.

Ensimmäisessä osatutkimuksessa testataan stokastisia ja deterministisiä trendejä Suomen talouden kehitystä kuvaavissa muuttujissa käyttäen pitkiä aikasarjoja vuosilta 1860-1989. Useimmat tutkituista sarjoista ovat trendistationaarisia. Eniten tukea saa ns. segmentoidun trendin malli, jossa aikasarjassa oletetaan olevan muutoksia deterministisessä trendissä vuosina 1917 ja 1939. Linden esittääkin hieman kritiikkiä siitä, että liian helposti oletetaan a priori, että aikasarjoissa on yksikköjuuri. Tähän mielipiteeseen voi yhtyä, mutta trendimallienkaan spesifiointi ei ole yksioikoista. Trendissä voi esimerkiksi olla useampia katkoksia, joiden ajankohdat ovat tuntemattomat. Katkoskohtien estimointi toisi tuki omat ongelmansa (esitestaustilanteita). Voidaan myös kysyä, onko näinkin pitkässä aikasarjassa datan laatu niin tasainen, että siitä ei aiheudu katkoskohtia trendeihin.

Tyypillisesti uudessa aikasarjaekonometriassa on pidetty parempina aikasarjoja, jotka kattavat pitkän ajanjakson vaikka vähemmällä havainnoilla kuin lyhyen ajanjakson kattavia tiheähavaintoisia sarjoja. Pitkä aikaväli paljastaa

paremmin pitkän aikavälin relaatiot. Toisaalta, kun tarkasteltava ajanjakso on yli sata vuotta, talouden rakennemuutos voi olla niin suuri, että esimerkiksi BKT:ta kuvaava aikasarja on joitakin vuosikymmeniä trendistationaarinen ja joitakin vuosikymmeniä differenssistationaarinen. Tämä edellyttäisi testausta, jossa tarkasteltavan aikasarjan prosessissa myös viivästetyn selitettävän muuttujan kerroin vaihtelee yli ajan siten, että se on välillä ykkönen ja välillä alle ykkösen. Tämäntyyppistä muuttuvaparametrisen estimoinnin yhdistämistä yksikköjuuriekometriaan ei ole juuri pohdittu alan kirjallisuudessa.

Lindenin johtopäätös, että tulokset antavat yksityiskohtaisen kuvan Suomen talouden kasvuprosessista ja hänen lievä kritiikkinsä kasvututkimusta kohtaan ovat hieman yliampuvia, sillä kasvuprosessin tarkastelu pelkästään yksittäisten aikasarjojen perusteella antaa ainoastaan kuvan kasvun nopeudesta, ei siitä miten esimerkiksi eri tekijät, kuten tuotantopanosten käyttö ja tekninen kehitys, ovat vaikuttaneet tuotannon kasvuun.

Toisessa osatutkimuksessa verrataan erilaisia stationaarisuustestejä "tyypilliselle" kokonaistaloudelliselle aikasarjalle. Tämä on muodostettu keskiarvona yhdeksästä Suomen talouden kehitystä kuvaavasta aikasarjasta vuosilta 1900-1989. Päähuomio on erilaisten testien vertailussa simulointikokein. Osassa testeistä nollahypoteesina on differenssistationaarisuus ( $I(1)$ ) ja osassa stationaarisuus ( $I(0)$ ). Lindenin johtopäätös on, että testit eivät ole kovin luotettavia ja hän suositteleeikin toisaalta simulointien laajempaa käyttöä testien ominaisuuksien tutkimisessa ja toisaalta  $I(1)$ - ja  $I(0)$ -testien käyttöä yhdessä. Mikäli johtopäätökset perustuvat molempien testien käyttöön yhdessä, yhteisen testin empiirinen merkitsevyystaso tulisi erikseen selvittää simuloinneil-

la. Lindenin analyysi on mielenkiintoinen ja osoittaa Monte Carlo -menetelmän edut tämänlaisessa tutkimuksessa. Simulointeja tehtäessä on toki huomattava, että todellinen malli on aina tuntematon ja tutkija tulee helposti tehneeksi simuloinnit siten, että ne suosivat jotakin mallia tai testiä.

Yksityiskohtaisempaa keskustelua olisi voinut käydä siitä, miten "tyypillisen" sarjan ominaisuudet riippuvat yksittäisten sarjojen ominaisuuksista. Kun tulokset viittaavat siihen, että yksittäisten sarjojen osalta segmentoidun trendin malli on preferoitu, olisi odottanut, että myös "tyypillisessä" taloudellisessa aikasarjassa on trendimuutoksia. Sille on kuitenkin estimoitu differenssistationaarinen malli ja trendistationaarinen malli vakioisella trendillä, joita on sitten käytetty simuloinneissa.

Kolmas osatutkimus käsittelee aikasarjan shokkien pysyvyyden testausta. Tällöin on kyse siitä, miten suuri on satunnaiskulkukomponentin osuus aikasarjassa. Testauksessa käytetään kausipuhdistettua neljännesvuosisarjaa Suomen BKT:sta. Käytettyä kausipuhdistusta ei ole perusteltu ja sen vaikutuksia tuloksiin olisi voinut pohtia tarkemmin. Aikasarjan ominaisuuksia on ensin tutkittu vaiheittaisella testillä, jossa havaintoja on lisätty yksi kerrallaan. Johtopäätös on se, että aikasarja on differenssistationaarinen, kun kaikki havainnot käytetään. Olisi hyödyllistä käyttää yleisemminkin nimenomaan tällaisia testejä, joissa havaittaisiin mahdolliset siirtymät trendistationaarisuudesta differenssistationaarisuuteen. Testauksessa ei oteta huomioon mahdollisia trendikatkoksia, jotka olivat ensimmäisen osatutkimuksen huomion kohteena. Shokkien pysyvyyttä on mitattu parametrisilla ja ei-parametrisilla menetelmillä. Johtopäätös on, että alle puolet shokeista pysyy pitkällä tähtäimellä. Eri mittarien pienotosominaisuuksia on tutkittu Monte Carlo

detestien olevan parempia kuin parametrinen menettely. Jälleen osoittautuu vaikeaksi erottaa toisistaan differenssistationaarista ja trendistationaarista prosessia, jos satunnaiskulkukomponentin osuus sarjan varianssista on pieni.

Yksikköjuuriekonometriassa on usein tarkasteltu varsin aggregoituja aikasarjoja, kuten tässäkin tutkimuksessa. Aggregaattisarja, kuten BKT, kätkee taakseen todennäköisesti suuren vaihtelun siinä, miten pysyviä shokit esimerkiksi eri kysyntäerissä tai tarjontaerissä ovat. Olisikin oleellista tutkia miten shokkien pysyvyys eri komponenteissa vaihtelee ja mitkä muuttujat dominoivat BKT:n shokkien pysyvyyttä. Tämä antaisi paremmin viitteitä tulosten taloudellisesta merkityksestä.

Neljännessä osatutkimuksessa sovelletaan yksikköjuuritestejä ja yhteisintegroituvuusanalyysia malliin, jolla selitetään asevarustelukilpailua Israelin ja Arabimaiden välillä. Malli on lainattu suoraan kansainvälisen politiikan kirjallisuudesta ja siinä asevarusteluun käytettyjen varojen muutosta selitetään omilla ja kilpailijan asevarustelumenoilla. Ekonomistin näkökulmasta olisi mielenkiintoista nähdä, miten vastaava malli johdettaisiin talousteoriana sisällyttäen siihen esimerkiksi odotuksia vastustajan käyttäytymisestä, asevarustelun sopeuttamiskustannuksia ja strateginen käyttäytyminen. Tällöin malliin voisi sisällyttää muitakin selittäviä muuttujia.

Tulokset osoittavat, että kausaalisuus kulkee Israelin varustautumisesta Arabimaiden varustautumiseen ja Israelin asevarustelu määräytyy eksogeenisesti. Siten perusmalli tulee hylätyksi. Koska dataperiodi on melko lyhyt, on hie-man kyseenalaista, miten luotettavia testitulokset ovat. Tässä on joka tapauksessa esimerkki siitä, miten yksikköjuuriekonometri-an tulosten tulisi vaikuttaa teorian kehittämiseen siten, että

teoria olisi paremmin sopusoinnussa empiiristen tulosten kanssa.

Viimeisessä osatutkimuksessa tarkastellaan työn kysyntämallia, joka estimoidaan Suomen tehdasteollisuuden vuosiaineistolla. Mallissa työtuntien oletetaan riippuvan arvonlisäyksestä ja reaali-palkasta. Vaihtoehtoisessa tapauksessa parametreille asetetaan yksikkörajoite, ts. työn tuotanto- ja palkkajoustot ovat ykkösen suuruisia. Tämä implikoi vakioiset rajatuotot tuotannossa ja palkan tulkitaan tällöin määräytyvän tuottavuuden perusteella. Parametrirajoitteen perustelut olisivat selvemmat, jos esitettäisiin eksplisiittisesti teoriamalli, jonka kanssa ne ovat konsistentteja. Nyt ne eivät sovi yhteen alkuperäisen kysyntäyhtälön perusteluna esitetyn voiton maksimointimallin kanssa.

Estimointitulokset osoittavat, että sekä estimoidun staattisen mallin että a priori rajoitetun mallin residuaalit ovat stationaarisia. Siten sekä estimoidut parametrit että ykkösen suuruiset kertoimet voisivat olla yhteisintegraatiovektoreita. Linden tulkitsee tuloksen siten, että staattisen mallin estimointi antaa harhaisia tuloksia. Myös virheenkorjausmallin estimointitulokset ja vaihtoehtoiset estimointimenetelmät näyttäisivät tukevan tätä. Estimaatteja on verrattu Monte Carlo simuloinneilla, jotka tukevat Lindenin tulkintaa.

Lindenin väitöskirja liittyy viime vuosina syntyneeseen tutkimusalaan, joka kattaa laajan kirjon soveltavasta teoreettiseen ekonometriaan. Lindenin tutkimus on soveltava, mutta empiiriset tulokset eivät sinänsä ole erityisen innovatiivisia. Tutkimuksen suurin ansio onkin sen sijaan se, että osoitetaan, miten teoriaa, estimointeja ja simulointeja voidaan yhdessä käyttää taloudellisten ilmiöiden analysoinnissa.