

**Utveckling och spridning av forskning: fallet
effektivitetsforskning**

Finn R Førsund
Finn.Forsund@econ.uio.no

och

Nikias Sarafoglou
Nikias_sa@yahoo.se

Abstract.

Recent availability of electronically accessible database of journal articles makes studies of the diffusion of papers through citations possible. Citation peaks have been found to be typically five to seven years, with a long tailing off. A seminal paper on theoretical and applied efficiency analysis followed quite another diffusion pattern.

Keywords: bibliometric methods, Farrell efficiency measures ,
DEA.

JEL classification: B21, D24

1. Bakgrund

För att ha någon påverkan inom eller utom sin disciplin måste forskningsresultat spridas. Detta leder direkt till frågan hur spridningen kan mätas. Ett tänkbart sätt att mäta är helt enkelt att se på antalet citeringar inom en viss tidsperiod.

I denna artikel skall vi studera hur två klassiska artiklar om effektivitetsmått och produktivitetsmått har metodutvecklats och spritts, dvs. åberopats av andra forskare i de tidskrifter som ingår i databasen Social Sciences Citation Index (SSCI), som är en av de databaser som sammanställs av det amerikanska Institute for Scientific Information (ISI).

De klassiska artiklar som det gäller är Michael James Farrells artikel "The measurement of productive efficiency" från 1957 och Abraham Charnes, William W Coopers och Edwardo Rhodes (CCR) "Measuring the efficiency of decision making units" från 1978.

Först kan det finnas skäl att erinra om följande. Ungefär 2/3 av alla artiklar i vetenskapliga tidskrifter blir aldrig citerade i ISI:s databaser, bortsett från självciteringar då någon åberopar en egen artikel. En tidskrifts påverkanfaktor (impact factor), som baseras på hur ofta artiklar i tidskriften åberopas i andra ISI-tidskrifter, varierar naturligtvis mellan tidskrifterna. Samma gäller halveringstiden (half-life), som baseras på den tid som en artikel förväntas bli citerad. En citeringstopp inträffar i regel efter fem till sju år, följt av en lång avtagande "svans" (de Solla Price, 1976, Johnson, 1997). Farrells och CCR:s artiklar har emellertid sin citeringstopp långt senare, på 1990-talet. Det föranleder Johnson (1997) att påpeka att "gammalt kapital" inte alltid bör avskrivas så snabbt.

Artiklar som Farrells och CCR:s bidrar till "obliteration by incorporation", dvs. till att nyckelbegrepp används utan referens. Klassiska exempel på sådana begrepp är Walras lag och Cobb-Douglasfunktionen; i vårt fall är Farrells effektivitetsmått och DEA-metoden kandidater av samma slag. (Zuckerman, 1987, s 331, Johnson, 1997.)

I denna artikel kommer bland annat följande saker att behandlas:

1. All metodutveckling efter Farrell (1957) när det gäller skattning av produktionseffektivitet har antingen föreslagits av Farrell eller uppkommit i diskussionen kring Farrells artikel.
2. Farrell citerades under 20-årsperioden före CCR:s artikel 1978 i större utsträckning än vad som vanligen uppgivits.
3. Tidskrifters specialnummer är viktiga för spridningen av forskningsresultat.
4. Huvuddelen av nutida citeringar av CCR kommer från specialnummer av operationsanalytiska tidskrifter med nära medarbetare till Charnes och Cooper som redaktörer.

Milstolparna i utvecklingen av analyser av produktionseffektivitet på disaggregerad nivå sammanfattas i kapitel 2, och viss bibliometrisk information baserad på SSCI presenteras i kapitel 3. De två klassiska artiklarna av Farrell respektive CCR genererades inom två olika forskningsfält, nationalekonomi och operationsanalys. SSCI-databasen kan avslöja spridningsmönstret inom och mellan dessa fält. Sammanfattande slutsatser ges i kapitel 5.

2. Milstolpar studier av effektivitet och produktivitet

När andra världskriget var slut kunde krafterna ägnas åt återuppbyggnad. Det fanns då ett allmänt intresse för tillväxt och produktivetsfrågor, och Solows inflytelserika artikel om detta på makronivån publicerades 1957. Samtidigt lades grunden för nya tekniker för studier på mikronivån, som innefattade två huvudfrågor: För det första, hur skall man definiera effektivitet och produktivitet? För det andra, hur kan man beräkna benchmark-teknologi och effektivitets- och produktivetsmått?

En grundläggande hypotes var att det var möjligt att det skedde icke-effektiva operationer. Detta kunde illustreras med motsättningen mellan begreppet frontproduktionsfunktion och begreppet genomsnittsproduktionsfunktion, där den senare mest användes före Farrells frukt bärande artikel.

Den frukt bärande artikeln var ”The measurement of productive efficiency” av Michael James Farrell, också publicerad år 1957. Farrells bidrag var banbrytande i tre avseenden:

- i) Effektivitetsmättet var baserat på radially likformiga kontraktioner eller expansioner från icke-effektiva observationer till fronten,
- ii) Produktionsfronten var specificerad som den mest pessimistiska linjär höljet av data
- iii) Fronten var beräknad via lösning av system av linjära ekvationer (men utan användning LP-algoritmer).

Effektivitet och produktivitet är kärnbegrepp inom nationalekonomin. Farrells nya aspekt var en nedbrytning i teknisk effektivitet, pris- (eller allokerings-) effektivitet och total effektivitet på mikronivå i ett företag (eller produktionsenhet). Den radiala kontraktionen/expansionen som anknyter icke-effektiva observationer med (icke-observerade) referenspunkter på produktionsfronten som basen för beräkningar är kännetecknet, och enligt den fundamentala dualiteten mellan produktions- och kostnadsfunktioner kan identiska måttenheter också definieras med användning av den sista funktionen.

Farrells effektivitetsmätt visas i hans egen originalillustration i Figur 1.

Definitionerna är:

Teknisk effektivitet: input ”at best practice” behövs för att producera observerade output-relativt till observerade inputkvantiteter, genom att hålla fast observerade inputkvot; OQ / OP .

Priseffektivitet: produktionskostnader av observerat output med observerade faktorpriser förutsatt teknisk effektivitet, relativt till minimerade kostnader på front;
OR/OQ.

Total effektivitet: produktionskostnader av observerad output om både teknisk effektivitet och priseffektivitet antas relativa till observerade kostnader;
 $OR/OP = (OQ/OP) (OR/OQ)$.

I valet av en produktionsfront-benchmark antog Farrell det mest praktiska angreppssättet, med startpunkt i ingenjörsvetenskapen stankegångar och slutpunkt i en rekommendation av observerade best practice. Inspirerad av "the activity analysis" av Koopmans (1951) introducerade han "a piecewise linear envelopment" av data som den mest pessimistiska specifikationen av fronten, liksom att funktionen skulle vara så nära så möjligt till observationer "as possible" (se Figur 2 för hans original-illustration), och att visa hur fronten kunde etableras via en lösning av linjära ekvationer.

Ingen bör läsa Farrells papper utan att studera "Discussion on Mr. Farrell's Paper" (Farrell (1957), s 282-290). De problem och punkter som diskuteras där kom att bli forskningsfrågor under de följande decennierna.

Först av allt var Dr. A J Hoffmans intervention som påpekade (s 284) att den nyetablerade LP-algoritmlösningen, den duala simplex-metoden av C E Lemke (en f d Ph.D student till Abraham Charnes) kunde tillämpas. Detta visade sig vara ett mycket praktiskt förslag, som adopterades av Farrell i Farrell och Fieldhouse (1962), och av jordbruksekonomer vid Berkeley i mitten av 60-talet utan märkbar påverkan, men sedan igen av CCR 1978 med mycket stor effekt.

Mr. C B Winsten undrade, efter smickrande av Mr Farrell för den geniala metoden att estimeras frontfunktionen: "It would be

interesting to know whether in practice this efficient production function turned out to be parallel to the average production function, and whether it might not be possible to fit a line to the averages, and then to shift it parallel to itself to estimate the efficient production function” (s 283). En sådan procedur blev känd nästan 20 år senare som ”Corrected Ordinary Least Squares (COLS) eller ”shifted ordinary least squares” (se Richmond (1974), Gabrielsen (1975) and Greene, 1980).

Farrell observerade för estimationen ur statistisk synvinkel:

”There exists some efficient function, from which all the observed points deviate randomly but in the same direction.” (s 263),

och sedan refererade han till analogin om estimering parametrarna av extrema fördelningar. Mr Sturrocks interventioner om problem att generera bästa resultat, och Mr J A C Browns bekymmer om misstag av observationer och möjliga bias rättelse, inspirerade Farrell att utropa:

” Indeed, I still hope that some theoretical statistician will take up the challenge offered by this knotty little problem. ” (s 290).

Utveckling av estimeringsprocedurer för stokastiska fronter, som startade med Afriat (1972), kan betraktas som respons till ovannämnda interventioner och Farrells önskan. / 1 /

Den deterministiska parametriska metoden

Målet med ”On estimating the industry production function”, av Aigner och Chu (1968) (AC) var att ge en estimeringsteknik för en deterministisk frontproduktionsfunktion. Koppling till Farrell var mycket explicit i introduktionen, men den icke-parametriska metoden var övergiven av ekonomer till förmån för den standardiserade parametriska metoden.

Det var första gången som ekonometrisk estimering erbjöds som ett alternativt koncept till den genomsnittliga funktionen. Den standardiserade Cobb-Douglas funktionen introducerades av AC som benchmark för effektivitetsestimering, och linjär programmering användes för att beräkna fronten i en

deterministiskt inramning. AC fokuserade inte på effektivitet som sådan, men på frontproduktionskoncept. Inga insikter eller nytt material kring effektivitet framkastades. Sambandet med jordbruksekonomernas vid Berkeley LP-tekniker var inte accepterat.

Den stokastiska frontfunktionen

Extensiv statistisk inferens blev tillgänglig ett decennium senare via introduktionen av den "Composed error"-definitionen i parametriska modeller i "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models", av Aigner, Lovell och Schmidt (1977) (ALS), och i "Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed errors", av Meeusen och Broeck (1977) och öppnade möjligheterna för mer rigorösa ekonometriska analyser av frontfunktioner.

I citationsanalysen kommer vi att fokusera på ALS därför att den artikeln är den mest citerade av artiklarna. Detta kan vara "*Matthew-effekten*" i aktion (se eg. Merton, 1968): ALS var mycket mer etablerade, de publicerades också i en journal med högre "Impact Factor" på den tiden. Under perioden 1981-1985 existerade 19 citeringar av Meeusen och Broeck, och 28 av ALS (en referens bara för Battese och Corra), medan under perioden 1986-1990 den första fick noll citeringar, liksom under år 1991 och 1996 (detta gäller också för Battese och Corra).

Sambandet till Farrell var mycket explicit i den första paragrafen av ALS liksom nyttan av frontkonceptet. Composed error innehåller två delar, en stokastisk slumpdel (white noise) med symmetrisk fördelning, och en slumpdel med snedfördelning som representerar effektivitet. I en-output-modellen var sambandet direkt mellan den snedfördelade delen och Farrellmått av teknisk effektivitet med output-orientering. Man måste komma ihåg interventionerna efter Farrells presentation för att förstå att ALS-metoden är en direkt uppföljning av generella problem som

diskuterades då. (Detta samband är dock inte refererat explicit i ALS).

Det våras för programmerarna

För en ekonom innehåller CCR-1978-artikeln samma grund som Farrell beträffande effektivitet. Både de föreslagna effektivitetsmått och ramen av styckvis linjär produktionsteknologi var identiska. Men CCR-kalkyleringsmetoden var överlägsen Farrells och inom ledande riktning av växande popularisering av LP, och visade sig vara beräkningsbar antingen via användande av standardiserade LP-koder i mainframe-datorer eller via utveckling av mer effektiv skräddarsydd mjukvara.

Det är intressant att notera att, trots att, CCR gör explicita referenser till Farrelldefinitionen av effektivitetsmått och vägen att beräkna dem, så är artikeln marknadsförd med uttryck som "...ger en ny definition av effektivitet..." i abstract (förordet). Beträffande nymodigheten i LP-metoden refereras också Hoffmans interventioner, liksom Farrells tillämpning i artikeln från 1962. Emellertid nämns inte jordbruksekonomernas vid Berkeley användning av explicita LP-modeller i en symposiumvolym av Western Farm Economic Association publicerad 1967, och är förmodligen bortglömda.

I OR/MS-föreningen finns omfattande missförstånd kring en aspekt av Farrells bidrag och följaktligen om CCR-bidrag. I den inflytelserika boken Charnes et al. (1994, s4) uppges följande :

"CCR used the optimization method of mathematical programming to generalize the Farrell (1957) single-output/input technical efficiency measure to the multiple output/multiple-input case..."

Subsektionen "2.3. Generalization to the Case of Many Inputs and Outputs" (Farrell (1957, s 256) skulle göra solklart att Farrell täckte multipla input och output.

Uppskattningen av Farrells bidrag inom OR/MS-föreningen framkommer också i Seifords kvalitativa analys av 25 forskares svar angående den bästa DEA-publiceringen (1996, s 104):

"A few researchers listed Farrell (1957) among the ten most influential papers, while one more accurately characterized it as one of the ten least influential!" (se Sarafoglou (1997) för en bibliometrisk falsifiering av Seifords "top ten" lista).

Ett bidrag av CCR som det borde vara värdefullt för ekonomer att uppmärksamma är det explicita sambandet mellan produktivitetsindexmätt i form av en viktad summa av output på en viktad summa av input, och Farrellmätt av teknisk effektivitet (med konstant skalavkastning). Den första är den sk kvotformen av CCR. En bro konstruerades mellan ingenjörsvetenskapskoncept av mikro produktivitetskvoter och ekonomers koncept av effektivitet.

Koppling till produktivitetsmätt

Farrells mikroeffektivitetsmätt och aggregerade produktivitetsanalyser baserade på totalproduktivitetsmätt kopplades ihop i "The economic theory of index numbers of the measurement of input, output and productivity", av Caves, Christensen, och Diewert (1982) (CCD) några år senare. Baserat på arbete från tidigt 1950-tal erbjuds verktyg för en mikrobaserad analys av produktivitetsberäkningar för diskreta observationer. Men det är egendomligt att CCD gjorde detta utan påpekande av anknytningen till Farrell, och också utan att ange att CCR genererade en plausibel metod för beräkning av effektivitetsmätt. CCD använde Shephardskoncept av distansfunktionen och baserade indexkonstruktionen på Malmquist (1953) och ärade honom genom att namnge sitt produktivitetsmätt som *Malmquistindex*. Sten Malmquist, en statistiker som också använde

(icke-formellt) en distansfunktion i ett konsumentperspektiv när han utvecklade ett kvantitetsindex för förändringar i konsumtionskorgar, såsom Moorsten (1961) gjorde när han föreslog produktivitet via användandet av ett outputindex över ett inputindex i en två input-två output-landmodell.

Det var Färe et al. (1994b) som först drog nytta av relationer mellan distansfunktioner och Farrellseffektivitetsmått i en artikel från 1989 som fick stor spridning. Artikeln gav impulser till tillämpning och vidare utvecklingar av CCR-metoden inom produktivitetsanalyser (se Färe et al. (1998) för en översikt).

Forskning generas inte i ett isolerat tillstånd. Som redan noteras angav Farrell både Debreu och Koopmans som inspirationskällor. Men, med hänsyn till vår användning av citationsanalys kan det vara intressant att notera att Farrell själv endast förtecknade några få referenser, åtta för att vara exakt. Detta bör delvis vara beroende på den tilltänkta publiken för denna artikel:

It is hoped that the paper will be of interest to a wide range of economic statisticians, businessmen and civil servants, many of whom have little knowledge of economic theory or mathematics. For their benefit, the main exposition is in the sort of terms used by elementary economic textbooks, and such elementary mathematics as is necessary for discussion of the general case or of the computing problems is confined to sections 2.3 and 5. (Farrell (1957), s 253-254).

Emellertid, förbisåg han ett samband med den axiomatiska produktionsteori som kunde ha varit disponibel för att motivera valet av den radiala kontraktionen eller expansionen från en observation till fronten, nämligen distansfunktionskonceptet introducerat för ekonomer av Shephard (1953).

Farrell motiverade faktiskt inte så mycket valet av effektivitetsmått-definitionen. Shephard använde distansfunktionen som ett kritiskt instrument för att etablera den fundamentala

dualiteten mellan produktion och kostnader; d v s att bevisa den unika korrespondensen mellan produktionsteknologi och den minimerade kostnadsfunktionen. Farrell använde egentligen det här särdraget för att visa hur hans effektivitetsmått också hade en kostnadsöversättning.

Farrell och Fieldhouse (1962) försökte att expandera ramen till variabel skalavkastning. Emellertid accepterades inte deras förslag till datagruppering, och det var begränsat till en output. Skalavkastnings-tankegångar diskuterades i Seitz uppföljningar (1970), (1971) och lider också av denna begränsning och brist på kontakt med produktionsteori. Forsund och Hjalmarsson (1974), (1979) ger konsistenta skalavkastningsdefinitioner för multipla output med variabel skalavkastning. (Banker, Charnes och Cooper (1984) bortser från dessa bidrag.)

Den konstitutiva indexnaturen av Farrellmått framhävs av Malmquist- index, introducerat i CCD, via samband med den första med Shephard distansfunktion som används i den senare. Emellertid, kände inte Malmquist till distansfunktionens översättning, och bidrog inte ytterligare på det här området .

3. Diffusionsmönster

Viktiga faktorer som påverkar antalet citeringar, bortsett från forskningsbidragets kvalitet, är journalens rykte, författarens rykte, antalet nära medarbetare, kollegor, "cadres of proteges" (Zuckerman, 1987, s 332), doktorander och nätverkets volym ("invisible colleges"). Farrell publicerade i en journal som var välkänd i England, men inte i USA, där journalen inte var inkluderad i samhällsvetenskapliga databaser. Han hade ett bra rykte , men var en icke-produktiv journal- bidragare, och han hade ingen doktorandgrupp runt sig. Lokaliseringen vid Cambridge bör inte vara ofördelaktig ur nätverkssynpunkt , men som person borde

han förmodligen inte vara en aktiv marknadsförare av sina egna ideer. Faktum är att den första själv-citeringen som ett positivt bevis för reklam, kom faktiskt i en fortsättningsartikel fem år senare om skalavkastningsfrågor (Farrell and Fieldhouse, 1962).

Diffusionen över tiden

Diffusionen av de fem ovannämnda artiklarna över tiden redovisas i Tabell 1. Ekonomer bägge from Europa och USA, och de mer kända inkluderas i Tabell 2, gjorde tidiga citeringar av Farrell. Den första citeringen kom 1959 och den var inte mycket entusiastisk, som visas från utvärderingen: "Mr. Farrell's work has the virtue of making a start – where previously little had been done." (Hall and Winsten, 1959, s 85). Den nästa referensen var 1961, och sen 1962 från Farrell själv.

En annan tidig citering kom 1964 från en OR vetenskapsman (Amey), och denna var faktiskt en konsekvens av 1963 som var officiellt tillägnat som Nationellt Produktivitetsår i England. Konferensämnet för den Nationella Konferensen av Operationsanalytiska Föreningen var "Productivity Criteria: Their use and abuse". Amey presenterade artikeln som publicerades 1964.

Forskargruppen var heterogen, sträckte sig från OR-människor, ekonometriker, jordbruksekonomer och traditionella ekonomer till företagsekonomer. Referensjournaler reflekterar heterogenitet, men de har höga "Impact Factors" i genomsnitt.

Citeringarna hade en verklig uppgång först på slutet av 70-talet. Vi noterar påverkan av den speciella utgåvan av Journal of Econometrics 1980 tillägnad frontfunktionsestimering (Aigner var editor). Den andra förändringen av intresse kom på slutet av 80-talet, och antalet citeringar har accelererats sedan dess.

CCR hade en bättre start. De var äldre (nära 60 år i jämförelse med Farrell som var 31 år gammal) och väletablerade inom programmeringsfältet, med bättre rykte beträffande publiceringsfrekvens än Farrell (han hade sex journalpubliceringar före 1957, se bibliografi i Fisher, 1976), och de var inflytelserika i en stor grupp doktorander. Emellertid var deras publiceringsjournal, *European Journal of Operations Research*, ny och ej välkänd.

Farrell kämpade för att beräkna effektivitetsmått för sina illustrationer, bestående av bara 48 enheter och fem variabler. Användandet av en av de tidigaste elektroniska datorer i Europa, ESDAC-datorn i Downing street, upp till 60 timmar för en körning rapporterades (Farrell (1957), s 265). ESDAC hade sannolikt mindre datorkapacitet än en modest fickkalkylator idag! Däremot kunde Charnes och Cooper och medarbetare erbjuda LP-koder med hög access som man kan köra i snabba mainframes. Den första kommersiella mjukvaran för PC, IDEAS, marknadsfördes 1989. Detta är sannolikt en viktig faktor bakom DEA-framgång på 90-talet. Förbättringar i estimeringstekniker var fördelaktiga för cirkuleringen av båda artiklar.

Det verkar vara en omfattande missuppfattning, inte bara i OR/MS-föreningar, att Farrell var bortglömd till CCR blev publicerad. Ett typisk citat är:

”Farrell’s contribution was itself ignored for more than two decades. It was rediscovered by Charnes, Cooper, and Rhodes (1978), who referred to the mathematical-programming method of measuring technical efficiency as data envelopment analysis (DEA), an appellation that seems to have stuck. Their paper has to a flood of papers applying DEA, most of them in management-science/operations-research journals.”

(Russell, 1998, s 28)

Tvärtom, i jämförelse med en genomsnittlig artikel, fick Farrell en omfattande uppmärksamhet före CCR-publiceringen, och Farrells citeringar fortsatte att överträffa i antal CCR-citeringar under sent

70-talet och under 80-talet. Beträffande flödet av artiklar, bör man inte glömma bort antalet ekonometriska tillämpningar, såsom visas i Tabell 3.

Rollen av speciella utgåvor av European Journal of Operations Research 1993, 1995, Annals of Operations Research 1995, 1996, Journal of Productivity Analysis 1996, och Journal of Econometrics 1990 kan observeras kristallklart i Tabell 1.

Det är anmärkningsvärt att Impact Factor av journaler med de flesta citeringar minskar under 90-talet. 1996 hade de tre första journalerna mer än 60% av alla CCR citeringar. Detta är en återspeglning av verkligheten att allmänna nationalekonomiska tidskrifter är intresserade av teoretiska och metodologiska bidrag. Tillämpat arbete är på väg ur akademien som ett instrument av det verkliga livet, och publiceras oftast i journaler med mycket smalare (begränsad) profil.

Det första bidraget (AC) för metoder av estimering av parametriska frontfunktioner fick uppmärksamhet parallellt med Farrells artikel vid den här tiden, men den blev "technologically redundant" av ALS-bidrag nio år senare. Överflödet visas klart de fem åren med noll citeringar under den första hälften av 80-talet, och det låga antalet efteråt, i jämförelse med citeringar av ALS.

Det mesta av AC-citeringar efter publikation av ALS händer tillsammans med citeringar av den sista.

Artikeln som behandlar sambandet mellan Farrells effektivitetsmått och produktivitet, CCD, fick viss uppmärksamhet också innan detta samband etablerades på tidigt 90-tal, men har fått en stor ökning i citeringar efteråt, huvudsakligen tack vare initiativ för empiriska produktivetsberäkningar av Färe et al. (1994b).

Externa företeelser och trender

En annan faktor att tänka på är trender (fads) inom nationalekonomin (se t ex Bronfenbrenner, 1969). Att förbättra produktiviteten är alltid lika aktuellt, men under den senare delen av 70-talet har energikrisen funnits där, med påföljande behov av restrukturering av energikrävande aktiviteter.

Ett generellt misstroende av makroekonomyrket var påtagligt, och resulterade i en intresseökning för mikroekonomi. Behovet av instrument för att studera produktivitet på mikronivå kom via stagnationen i makroekonomisk produktivitet, som visas från national- räkenskaper, som följer i kölvattnet av 1974 års och 1979 års oljekriser.

Men vid en utvärdering av citeringsökning i absoluta termer, bör man vara medveten om att den generella explosionen i antal journalartiklar under 90-talet var orsakad av nya journaler. För att estimerar relativ viktighet av forskningsfält behövs en deflator, t. ex summa av artiklar.

Effekten av doktorander

Doktorandhandledning är en kanal för att försäkra inflytande och marknadsföra egen forskning, och försäkra citeringar via framgångsrika uppföljare (ett instrument för "promoting your own genes", för att låna en analogi från biologi).

Här är Farrells, Charnes' och Coopers profiler olika. Farrell hade ett fåtal medarbetare, men ingen doktorand i produktionseffektivitetsfält med signifikant egen "take off". Däremot hade Charnes och Cooper en stor grupp av doktorander och efterföljare.

Statistiken visar att Charnes har varit handledare för sju doktorander efter 1978 och Cooper för 13 (med bara en

överlappning), men de har initierat många fler avhandlingar vid Texas Universitet.

Användandet av Dissertations Abstracts från UMI för perioden 1976-1996 ser vi från tabell 3 att DEA är det mest populära ämnet under perioden, av ämnena DEA, frontproduktionsfunktion och Malmquist Index, men icke mycket överlägsen avhandlingar med produktionsfunktioner.

Det bör betonas att den här databasen huvudsakligen täcker USA och inte Europa.

Det geografiska diffusionsmönstret

Farrells arbete var noterat både i Europa och USA medan DEA hade en klar spridning med UTA som kärna, även om CCR publicerades i en europeisk journal.

Farrell besökte USA och spenderade tid vid Yale och träffade Koopmans vid Cowles Commission.

Som tydligt framkom vid den speciella sessionen att revitalisera och implementera Farrells metod vid WFEA-konferensen 1966, var Farrell välkänd i jordbruksekonomernas kretsar under den här perioden.

Farrell besökte faktiskt Berkeley under period 1965-1966.

Emellertid, resulterade den låga profilen av deras journal (ej i SSCI-databasen) och den blygsamma forskningsproduktiviteten hos dessa forskare till en temporär ”dead end”.

Via utländska doktorander rund Charnes och Cooper genererades DEA-arbeten i hemländerna av återvändande forskare speciellt i Asien.

I de nordiska länderna citerade epigoner till produktionsfunktions-skolan knuten till Frisch och Johansen (se Forsund 1999 för en översikt) Farrell mer än CCR.

Forskare lokaliserade vid Business Schools, såsom Warwick i England dominerade CCR-citeringstillväxten i Europa.

Konvergens av ”invisible colleges”

Storleken och typen av nätverk är klart viktiga för diffusionen av nya ideer. Efterföljare till Farrell och Charnes och Cooper arbetade inom olika nätverk eller såsom de sk OR/MS och nationalekonominsnätverk. En naturlig konsekvens är konkurrens mellan olika grupper och några friktioner är fakta i litteraturen och observerades vid konferenser och icke-rättvis selektion praktiserades i referee-processer. Men efter en ”fredskonferens” i Chapel Hill 1988 med konferensartiklar som publicerades i Journal of Econometrics 1990 och en bred konferens organiserad av Charnes och Cooper i Austin år 1989, etablerade olika nätverk extensiva korskopplingar.

Viktiga händelser såsom starten av Journal of Productivity Analysis (JPA) år 1989 sprungna ur det entusiastiska arbetet under många år av Ali Dogramaci vid Rutgers University, som organiserade icke-formella workshops med ämnet effektivitet och produktivitet dokumenterad i flera böcker och nätverket PARN år 1992 borde påpekas. Mönstret av korsreferenser illustreras i tabell 4:

Antal artiklar som citerar båda Farrell och CCR har klart ökat över tiden.

Det finns en tydlig överlappning mellan de ”ekonometriska” artiklarna AC och ALS under 1996 då 8 av 14 citeringar av AC kociterades med ALS. Det är anmärkningsvärt att alla citeringar av AC år 1996 är gjorda i artiklar som citerar Farrell eller CCR!

En annan vinkel för denna konvergensprocess ges i tabell 5 i form av journalfördelningen av citeringar av Farrell och CCR. Olika grupper använder som väntad traditionella journaler under 1991. Emellertid förändras mönstret 1996 och både ekonomer och OR/MS citerar oftare både Farrell och CCR tillsammans.

Notera den negativa trenden i citeringar av artiklar i jordbruksekonomernas journaler. Detta kan vara ett bevis på intresseminskning för effektivitetsstudier, eller så har Farrellseffektivitetsmått och DEA blivit "household" ord i en grupp som visade ett tidigt intresse i det här ämnet. Notera också ökningen av effektivitetsstudier i hälsojournaler. Detta kan vara en sidoeffekt av efterfrågan beträffande storleken och resursökningen av hälsosektorn i många länder.

4. Sammanfattning

Det kan vara av intresse att notera att betydelsen av Farrell (1957) inte kunde förstås av hans samtida, inte ens 20 år senare.

Bägge i en tillägnad artikel (obituary) i The Times (1975) och i Fischer (1976) betraktades en artikel om tilltagande avkastning eller icke-konvexitet i allmänhet som det bästa bidraget.

Utvecklingen av Farrells (1957) citeringar visar ett icke-typiskt mönster med långsamt intresse under de första tio åren, men ett konstant antal referenser i högrankade journaler under det nästa decenniet.

CCR (1978)-artikeln som utvecklade hans icke-parametriska estimering tjugoett år senare demonstrerade ett normalt klockformat citeringsmönster under sitt första decennium, sedan exploderade citeringarna för båda artiklarna under 90-talet, och gjorde sannolikt båda artiklarna till klassiker ur en bibliometrisk synvinkel med över 500 citeringar.

Det andra decenniet av Farrells artikel fick stora utvecklingar i estimeringsmetoder, och förståelsen av teoretiska frågor publicerades i högrankade ekonomiska journaler. Spridningen av journalerna och det geografiska ursprunget hos författarna var mycket stor.

Det är intressant att notera att jordbruksekonomernas insatser för att förbättra Farrells estimationsmetod för icke-parametriska fronter redan år 1966, med användningen av en LP-modell som skulle kunna bli en hörnsten i DEA-metoden som introducerades av CCR, misslyckades totalt med att få erkännande. Journalens spridning var en faktor, och gruppens låga produktivitet var den andra. Bara en medlem av gruppen, Seitz, hade efteråt en publikationslista som kunde generera någon effekt.

Vi bör också notera att LP-modellen som användes av Boles var den samma som användes i Farrell och Fieldhouse (1962), fokuserande på CRS och enhetsisokvanten. Paradoxalt nog nämndes inte det här sambandet i Boles. En output utnyttjades, men de korrekta ideerna för generalisering var indikerade. Den CCR-ansatsen var mycket mer generell och matematiskt stringent.

Citeringar av CCR utvecklades av ett specifikt amerikanskt universitet, och visar under det första decenniet ett starkt inflytande från doktorander och själv-citeringar. Journalerna var huvudsakligen OR/MS-journaler. När citeringsexplosion kom under 90-talet blev den geografiska spridningen och journalspridningen större, men majoritet av citeringarna var i journaler med förhållandevis låg impact eller rykte. Trots att teoretiska frågor och lösningsmetoder har utvecklats, finns majoriteten av citeringar för både Farrell och CCR i tillämpade journaler. Finns det en diskriminering av tillämpade artiklar i högrankade journaler, eller är detta ett mönster av en naturlig fördelning av forskningsoutput?

Citeringsökningen under 1990-talet beror på initierandet av Journal of Productivity Analysis (JPA) under året 1989, med några speciella upplagor baserade på konferenser, speciella upplagor av European Journal of Operations Research (1993 och 1995), och Journal of Econometrics (1990), och det finns volymer i Annals of Operations Research (1997, 1998). Sådana speciella upplagor bör

betraktas som en form av själv-marknadsföring av nätverket eller "invisible college".

Tack vare ökade kontakter och nätverksbyggande mellan ekonomer och OR/MS föreningen under 1990-talet, via JPA, PARN-nätverket, och gemensamma konferenser, ser vi ett klart mönster av att Farrell och CCR citeras mer och mer simultant.

Fler och fler artiklar är tillämpade och publiceras i journaler med små impact factors. Emellertid bör man inte se detta som en negativ utveckling - att inventera en metod som har praktisk användning måste vara det yttersta målet för vetenskapen?

Vi har sett att "follow-ups" hade att göra med metod, och att vi har en ekonometri- och en programmeringsinfallsvinkel. Den förra är vanligtvis relaterad till statistisk inferens, medan den senare har namngivits som deterministisk. Det finns nu en pågående forskning för att koppla ihop de två infallsvinklarna, d v s att göra den statistiska inferensen tillgänglig för den icke-parametriska metoden, se Banker (1993), Simar (1996), Simar and Wilson (1998), Kittelsen (1998).

En slutlig reflektion kring naturen hos Farrells bidrag är på plats. Redan 1959 noterade Hall och Winsten:

"However, his paper still suffers from a central weakness: that he does not analyse the concept of efficiency.." (s 85).

I fråga om den axiomatiska Shepardskolan har det funnits bidrag beträffande naturen av Farrells effektivitetsmått, men verkligen inte för ineffektivitetsnaturen som sådan.

I "Diskussionen" uttalade Mr. Colin Clark:

"I think we will agree, having heard this paper, that Mr. Farrell has already reached some interesting and successful results, and has come nearer than any previous investigator to a true measure of agricultural efficiency, which figures in their turn will send the economists further down the road hunting for the social and other factors which lie behind them."

(Discussion on Farrell's Paper, s. 282)

Dessa "hunts down" har emellertid inte varit så framgångrika. Det är klart att Leibensteins x-effektivitets-koncept borde fungera som en koppling till effektivitetsnaturen (se Burley (1994) för ett försök), men inte så mycket har kommit ut från den här forskningsinriktningen.

Forsund och Hjalmarsson (1987) har undersökt årgångsstrukturen som en förklaring av ineffektivitet. Förklaringar av effektivitetsdifferenser domineras dock av ad hoc-spekulationer om organisatoriska faktorer, miljöfaktorer, icke-mätbara kvalitetsaspekter av output och input, etc.

Två-steps-metoden för att först estimerar effektivitetsmått och sedan försöka korrelera dessa mått med olika förklaringsvariabler är ännu den tillämpade metoden. Låt denna vara en utmaning för framtidens forskning.

Noter

/ 1 /. Farrell hade också idéer för att testa specificering av en modell. Först, påpekade han (s. 269-270)

" ..., the introduction of a new factor of production into the analysis cannot lower, and in general, raises the technical efficiency...". Sedan föreslog han hur egenskapen kan användas:

" it is to such frequency distributions [of efficiency scores] that one must look for a measure of the success of the analysis (s 270).

.....

In going from $x_1x_2x_3$ to $x_1x_2x_3x_4$ (inputs) by introducing capital (another relevant factor) only a little of the apparent variation in efficiency is explained. Thus although in principle $x_1x_2x_3x_4$ is the better analysis, it seems that infact relatively little difference is made to the efficiency estimates omitting x_4 . "

(Man kan kanske tänka sig att analogier med regressionsanalys liksom introduktion av en variabel inte kan förbättra anpassningen; även om det inte existerar ett objektiv mått av signifikans.) (s 272).

En statistisk testprocedur utvecklades av Banker (1993), (se också Kittelsen (1998) för en förbättring av den här testproceduren), utan att peka på Farrells ovannämnda idéer.

/ 2 /. Farrells engagemang för sambandet mellan produktivitetsindexmått saknades , cf.:

”attempts have been made to construct ”indices of efficiency”, in which a weighted average of inputs is compared with output. These attempts have naturally run into all the usual index number problems. It is the purpose of this paper to provide a satisfactory measure of productive efficiency – one which takes account of all inputs and yet avoids index number problems-....”

(Farrell, 1975, s 253).

Han lämnade frågan där. Insikten om kvotformen och LP-ekvivalens i form av Farrellmått av teknisk effektivitet, enligt CCR, är att den duala lösningen av LP-beräkningsmåten ger oss endogent determinerade vikter för produktivitetsindexformulering (se också Försund (1998) för en exposition av den här punkten) .

Beträffande Farrells förbigående är det också intressant att notera att CCR explicit pekar på relationen mellan Farrellmått av teknisk effektivitet och distansfunktion av Shephard (s 442), och påstår att de kopplat ihop

”...two previously separate strands of economic research” (s 443).

Farrell gjorde medvetet sin exponering enkel, till fördel för ”statisticians, businessmen ...mathematics.” Ett bidrag av CCR var att effektivitetsberäkningsproblem presenterades i en formalistisk matematisk form mer begriplig och absorberad av forskningsgrupper. Genom att göra den explicita översättningen av

primala och duala lösningar visades också hur man kan kalkylera nyttiga definitioner som marginella produktiviteter.

Först inom OR/MS-föreningar, men senare inom nationalekonomin, startade artikeln ett nytt forskningsfält (Seifords bibliografi innehåller mera än 700 referenser), som populärt kallas DEA (Data Envelopment Analysis). För den tillämpande ekonomen var den stora fördelen möjligheten att bedriva studier med multipla output. Det fanns också utvecklingar av algoritmer och metoder generellt inom OR- sällskap.

Den ekonometriska ramen för parametrisk produktionfunktionsfront var begränsad till enbart en enkel output i primär form, eller duala kostnadsfunktioner borde användas i uppgifter med multipla output. Men för de mest intressanta tillämpningarna i den offentliga sektorn var priser otillgängliga för output.

/ 3 /. De tre första artiklarna efter Farrell som har vi accentuerat, har inflytelserika inspirationskällor utöver Farrell, och i den sista artikeln hänvisas inte alls till Farrell. Thompson och Thrall (1993) har en alternativ klassificering av bidrag efter Farrell:

Farrell's seminal paper was followed by a relatively large numbers of refinements and extensions, which may be broadly classified into three schools of thought (where the initial contributor's name provides a convenient reference here)

(Thompson och Thrall (1993), s 13-14).

De tre skolorna är 1. Afriats-skolan, 2. Charnes-skolan, 3. Shephards- skolan. Den första skolan täcker ekonometrikernas parametriska metod som vi har identifierat med ALS (AC är bortglömd), medan den sista skolan mer precist bör nämnas som den axiomatiska produktionsteorin. (Något förvånande ignoreras traditionella ekonomer som publicerar effektivitets- och produktivitetsforskning baserad på Farrells många tillämpade insikter.)

Afriat (1972) hänvisar generellt till Farrell i den första raden, men han kommer inte tillbaka till de specifika observationerna

påpekade av Farrell och i den Diskussionen om den statistiska estimationen av frontfunktioner. Emellertid, upphämtar ALS idéer föreslagna av Afriat om effektivitetsfördelningar som verkligen är inspirerade av Farrell. Afriats ram för att testa konsistensen av datamängden med hypotes av produktiv effektivitet eller kostnadsminimering och vinstmaximering är också utvecklad i Hanoch och Rothschild (1972). Deras mått av misslyckande att träffa de ekonomiska effektivitetskriterierna kan relateras till Farrellmått.

Beträffande kommunikationen mellan Afriat- och Charnes skolorna kan det vara intressant att notera att den styckvisa linjära front som forutsätter variabel skalavkastning tillräknas Banker et al. (1984) av den senare. Emellertid, hänvisas till den så kallade BCC modellen i Afriat (1972, s 581) (men för en output-tillämpning).

I motsatsen till ovanstående artiklar som representerar utvecklingar för metoder att estimeras frontfunktionen har den axiomatiska metoden relaterad till Shephard bidragit till förståelse av naturen hos effektivitetskoncept, i en formalistisk ram. Färe och Lovell (1978) var de första som formulerade axiom av effektivitetsmått (se Russell (1998) för en översikt). Extensiva referenser av den axiomatiska metoden kan man läsa i Färe et al. (1985) och (1994a).

Som redan påpekats är den kritiska egenskapen hos Farrellmått att de kan få en dual översättning: det inputorienterade tekniska effektivitetsmåttet har en kostnadssparande översättning och det outputorienterade effektivitetsmåttet kan översättas till en intäktsökning. De olika dualitetsrelationerna porträtteras och analyseras i Färe och Primont (1995), som introducerar ”dualitetsdiamanten”.

Tabell 1: Diffusion of citeringar

ÅR	AC	ALS	CCR	...Farrell	CCD
1962				1	
3				1	
4				2	
1965				0	
6				0	
7				1	
8	0			2	
9	0			0	
1970	4			4	
1	4			4	
2	1			2	
3	1			4	
4	4			5	
5	3			5	
6	3			4	
7	5	1		3	
8	5	4	0	8	
9	7	5	1	11	
1980	6	9	4	17	
1	0	3	3	8	
2	0	9	6	10	0
3	0	6	7	13	1
4	0	7	8	11	3
5	0	3	5	7	1
6	8	11	15	23	6
7	1	8	5	12	4
8	6	11	16	21	5
9	4	15	14	17	5
1990	4	13	20	30	5
1	5	17	22	23	6
2	4	18	27	26	10
3	6	23	32	35	3
4	6	28	39	36	7
5	9	32	44	37	17
6	14	44	97	77	13
TOTAL	110	267	365	460	86

Tabell 2: Tidiga citeringar av Farrell (urval)

År	Forskare	Journal
1959	Hall & Winsten*	Economic Journal
1960	Hicks*	Economic Journal
1962	Farrell & Fieldhouse	Journal of Royal Statistical Society
1963	Walters	Econometrica
1964	Amey	Operational Research Quarterly
1966	Boles*	Western Farm Economics Association Proc.
1966	Bressler*	Western Farm Economics Association Proc.
1966	Seitz*	Western Farm Economics Association Proc.
1966	Sitorus*	Western Farm Economics Association Proc.
1967	Glague	Review of Economics and Statistics
1968	Aigner & Chu	American Economic Review
1968	Clemhout*	Review of Economics and Statistics
1970	Nadiri	Journal of Economic Literature
1970	Seitz	American Journal of Agricultural Economics
1970	Bessell	Journal of Agricultural Economics
1971	Försund	Swedish Journal of Economics
1971	Timmer	Journal of Political Economy
1971	Seitz	Journal of Political Economy
1972	Afriat *)	International Economic Review
1972	Carlsson	Swedish Journal of Economics
1972	Hanoch & Rothschild	Journal of Political Economy
1973	Leibenstein	Journal of Political Economy
1973	Yotopoulos	American Economic Review
1974	Försund & Hjalmarsson	Swedish Journal of Economics
1975	Färe	Zeitschrift für Nationaleconomie
1976	Weston	European Journal of Marketing
1977	Meeusen	Int Econ R
1977	Försund	Int Econ R
1978	CCR	EJOR
1978	Hosios	J Oper Res
1978	Tyler	Weltwir Arc
1978	Chu	Rev Econ Stat
1978	Smith	Socio Econ
1979	Försund	Econ J
1979	Försund	Econometrica
1979	Tyler	Ox Econ Pap
1979	Tyler	Rev Econ Stat
1980	Greene	J Econometrics
1980	Schmidt	J Econometrics
1980	Diewert	Am Ec Rev
1980	Burley	Rev Econ Stat

Tabell 3: Antal avhandlingar 1976-1996

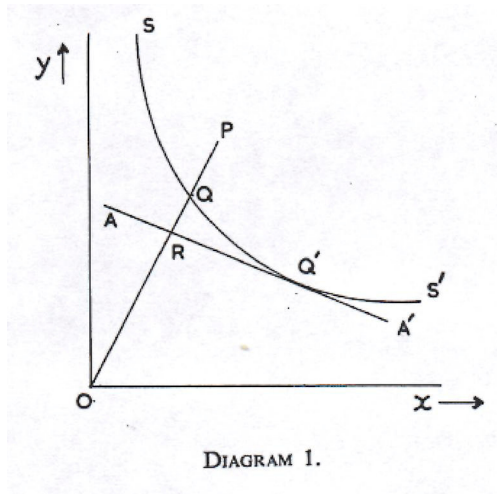
År	DEA	Produktions - front	Malmquist index
1976	0	1	0
7	0	1	0
8	1	0	0
9	0	1	0
1980	1	2	0
1	3	1	0
2	0	2	0
3	5	1	0
4	2	5	0
5	5	2	0
6	8	2	0
7	5	3	1
8	7	1	0
9	1	9	0
1990	10	3	0
1	9	6	0
2	8	2	1
3	10	8	3
4	9	8	3
5	10	8	1
6	10	11	4
Summa	103	77	13

Tabell 4: Mönster för kors-referenser

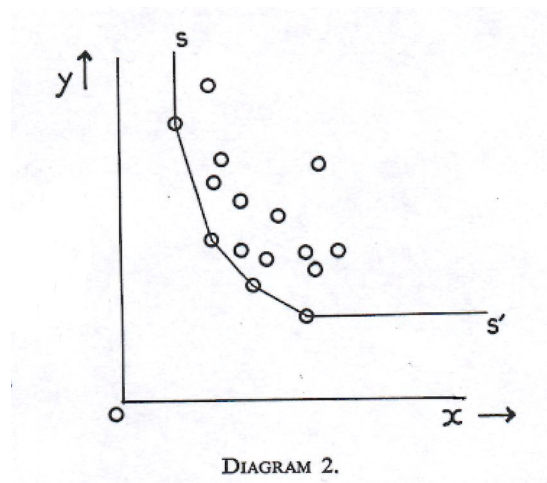
Artiklar	# citeringar 1986-90	# citeringar 1991	# citeringar 1996
(1) Farrell	103 (20) [*])	23	77
(2) CCR	70 (14)	22	97
(3) AC	23 (5)	5	14
(4) ALS	58 (12)	17	44
(5) CCD	25 (5)	6	13
Intersektion (1), (2)	32 (6)	6	42
Intersektion (1), (2), (3)	3 (0.6)	0	14
Intersektion (3), (4)	11 (2)	3	8
Intersektion (1), (2), (3), (4)	1 (0.2)	0	3
Intersektion (1),(2), (3), (4), (5)	0 (0)	0	0

Tabell 5: Fördelning av citeringar mellan Farrell och CCR i SSCI-journaler

Artikel	Operationsanalys		National-ekonomi		Företags-ekonomi		Hälso-ekonomi		Jordbruks-ekonomi	
	1991	1996	1991	1996	1991	1996	1991	1996	1991	1996
Farrell	2	12	14	50	0	6	1	5	6	4
CCR	11	46	2	35	6	13	1	2	2	1
Summa	13	58	16	85	6	19	2	7	8	5



Figur 1. Farrells effektivitetsmätt
 Källa: Farrell (1957), s 254



Figur 2. Den styckvisa linjära produktionsfronten
 Källa: Farrell (1957), p.256

Referenser

Afriat, S. (1972): "Efficiency estimation of production functions", *International Economic Review* 13(3), 568-598.

Aigner, D.J. and S.F. Chu (1968): "On estimating the industry production function", *American Economic Review* 58, 226-239.

Aigner, D. J., C.A.K. Lovell and P. Schmidt (1977): "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models", *Journal of Econometrics* 6(1), 21-37.

Amey, L. R. (1964): "The Allocation and Utilization of Resources", *Operational Research Quarterly* 15(2), 87-100.

Banker, R. D. (1993): "Maximum Likelihood, consistency and data envelopment analysis: a statistical foundation", *Management Science* 39(10), 1265-1273.

Banker, R. D., A. Charnes, and W. W. Cooper (1984): "Some models for estimating technical and scale inefficiencies", *Management Science* 39, 1261-1264.

Battese, G. E. and G. S. Corra (1977): "Estimation of a frontier production model: with application to the pastoral zone of Eastern Australia", *Australian Journal of Agricultural Economics* 21, 169-179.

Berger, A.N., and D.B. Humphrey (1991): "The dominance of Inefficiencies over Scale and Product Mix economies in Banking", *Journal of Monetary Economics* 28, 117-148.

Boles, J. N. (1967): "Efficiency Squared—Efficient computation of Efficiency Indexes", *Western Farm Economic Association, Proceedings 1966*, Pullman, Washington, 137-142.

Bressler, R.G. (1967): "The Measurement of Productive Efficiency", *Western Farm Economic Association, Proceedings 1966*, Pullman, Washington, 129-136.

Bronfenbrenner, M. (1965): "Trends, cycles, and fads in economic writing", *American Economic Review* LVI (May), Papers and Proceedings, 538- 552.

Brown, W. G. (1967): "Discussion of papers presented on "Production Functions and Productive Efficiency – The Farrell Approach" ", *Western Farm Economic Association, Proceedings 1966*, Pullman, Washington, 159-161.

Burley, H.T. (1994): "Farrell, Data Envelopment Analysis and Leibenstein on Efficiency Measurement" in Vaughn, K.I. (ed), *Perspectives on the History of Economic Thought*, Vol. 10. Elgar, Brookfield, 256-265.

Carlsson, B. (1972): "The Measurement of Efficiency in Production: An Application to Swedish Manufacturing Industries", *Swedish Journal of Economics* 74, 468-485.

Caves, D. , L. Christensen, and E. Diewert (1982): "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity", *Econometrica* 50(6),1393-1414.

Charnes A, W.W. Cooper, A.Y. Lewin, and L. M. Seiford (1994): *Data Envelopment Analysis*. Kluwer, Boston.

Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes (1978): "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operations Research* 2, 429-444.

Debreu, G. (1951): "The Coefficient of Resource Utilization", *Econometrica* 19, 14-22.

Farrell, M. J. (1957): "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120 (III), 253-281.

Farrell, M.J. and M. Fieldhouse (1962): "Estimating Efficient Productions Functions under Increasing Returns to Scale", *Journal of the Royal Statistical Society* 125, 252-267.

Fisher, M. R. (1976): "The Economic Contribution of Michael James Farrell", *Review of Economic Studies* XLIII(3), 371-382.

Färe, R. (1975): "Efficiency and the Production Function", *Zeitschrift für Nationaleconomie* 35, 317-324.

Färe, R. and C.A.K Lovell (1978): "Measuring the Technical Efficiency", *Journal. of Economic Theory*, 19(1), 150-162.

Färe, R. and D. Primont (1995): *Multi-output production and duality: theory and applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston/London/Dordrecht.

Färe, R., S. Grosskopf, and C.A.K Lovell (1985): *The Measurement of Efficiency of Production*, Kluwer, Boston.

Färe, R., S. Grosskopf and C.A.K Lovell (1994a): *Production Frontiers*, Cambridge University Press, Cambridge.

Färe, R., S. Grosskopf and P. Roos (1998): "Malmquist productivity indexes: A survey of theory and practice," in R. Färe, S. Grosskopf, R.R. Russell (eds). *Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist*, Kluwer Academic Publishers, Boston/London/Dordrecht, 127-190.

Färe, R., S. Grosskopf, B. Lindgren and P. Roos (1994b): "Productivity developments in Swedish hospitals: a Malmquist output index approach", in Charnes, A., W. W. Cooper, A.Y. Lewin and L. M. Seiford (eds.), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*, Boston/Dordrecht/London, Kluwer Academic Publishers, 253-272.

Førsund, F.R. (1971): "A Note on the Technically Optimal Scale in Inhomogenous Production Functions", *Swedish Journal of Economics* 73, 225-240.

Førsund, F.R (1998): "Comment on frontier production functions", *Econometric Reviews*, 4, 329-334, 1985-86.

Førsund, F.R (1998): "The rise and fall of slacks: Comments on Quasi-Malmquist productivity indices", *Journal of Productivity Analysis* 10, 21-34.

Førsund, F.R (1999): "On the contribution of Ragnar Frisch to production theory", *Rivista Internazionale di Scienze Economiche e Commerciali (International Review of Economics and Business)* XLV, 1-34.

Førsund, F. R. and L. Hjalmarsson (1974): "On the Measurement of the Productive Efficiency", *Swedish Journal of Economics* 76, 141-154.

Førsund, F.R. and L. Hjalmarsson (1979): "Generalised Farrell measures of Efficiency: An application to milk processing in Swedish dairy plants", *Economic Journal* 89, 294-315.

Førsund, F.R. and L. Hjalmarsson (1987): *Analyses of Industrial Structure. A Putty-Clay Approach*, Stockholm, Almqvist & Wiksell International.

Førsund, F.R. and N. Sarafoglou (2002): "On the Origins of Data Envelopment Analysis", *Journal of Productivity Analysis* 17, 23-40.

Førsund, F.R. and N. Sarafoglou (2005): "The Tale of the two Research Communities: The Diffusion of Research on Productive Efficiency", *International Journal of Production Economics* 98(1), 17-40.

Gabrielsen, A. (1975): "On estimating efficient production functions", *Working Paper* No. A-85, Christian Michelsen Institute, Bergen.

Greene, W.H. (1990): "Maximum Likelihood Estimation of Econometric Frontier Functions", *Journal of Econometrics* 13, 27-56.

Hall, M. and C. Winsten (1959): "The Ambiguous Notion of Efficiency", *Economic Journal* LXIX(March), 71-86.

Hanoch, G. and M. Rothschild, (1972): "Testing the Assumptions of Production Theory: A Nonparametric Approach", *Journal of Political Economy* 80(2), 256-275.

Johnson, D. (1997): "Getting noticed in economics: The determinants of academic citations", *The American Economist* 41(1), 43-52.

Kittelsen, S. A. C. (1998): "Using data envelopment analysis to measure production efficiency in the public sector", *Økonomiske Doktoravhandling*, Universitetet i Oslo.

- Leibenstein, H. (1973): "Competition and X-efficiency: Reply", *Journal of Political Economy* 81(3), 765-777.
- Malmquist, S. (1953): "Index Numbers and Indifference Surfaces", *Trabajos de Estadística* 4, 209-242.
- Meeusen, W. and J. van den Brock (1977): "Efficiency Estimation from Cobb-Douglals Production Functions with Composed Errors", *International Economic Review* 18, 435-444.
- Merton, R. K. (1968): "The Matthew effect in science", *Science* 159 (January), 56-63.
- Moorsteen, R. H. (1961): "On measuring productive potential and relative efficiency", *Quarterly Journal of Economics* 75, 451-467.
- Nadiri, M. I. (1970): "Some Approaches to the Theory and Measurement of the Total Factor Productivity: A Survey", *Journal of Economic Literature* 8(4), 1137-77.
- Koopmans, T. C. (1951): *Activity Analysis of Production and Allocation*, New York, Wiley.
- Price, D. de S. (1976): "A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes", *Journal of the American Society for Information Science* 27, 292-306.
- Richmond, J. (1974): "Estimating the Efficiency of Production", *International Economic Review* 15, 515-521.
- Ruist, E. (1960): *Industriföretagets Produktionseffektivitet. Några mätningmetoder*, IUI, Stockholm.
- Ruist, E. (1961): "Production Efficiency of the Industrial Firm. Some Methods of Measurement", *Productivity Measurement Review*, OECD, Paris.
- Russell, R. R. (1998): "Distance functions in consumer and producer theory," in R. Färe, S. Grosskopf, R.R. Russell (eds). *Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist*, Kluwer Academic Publishers, Boston/London/Dordrecht, 7-90.
- Röller, L-H. (1990): "Modelling cost structure: the Bell System revisited", *Applied Economics* 22, 1661-1674.
- Sandelin, B., & Sarafoglou, N. (2004): "Language and Scientific Publication Statistics", *Language Problems & Language Planning* 28(1), 1-10.
- Sarafoglou, N. (1998): "The Most Influential DEA Publications: A comment on Seiford", *Journal of Productivity Analysis* 9(3), 279-281.

Seiford, L. M. (1996): "Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art (1978-1995)", *Journal of Productivity Analysis* 7 (2/3), 99-137.

Seitz, W. D. (1967): "Efficiency Measures for Steam-Electric Generating Plants", *Western Farm Economic Association, Proceedings 1966*, Pullman, Washington, 143-151.

Seitz, W. D. (1970): "The Measurement of Efficiency Relative to a Frontier Production Function". *American Journal of Agricultural Economics* 52, 505-511.

Seitz, W. D. (1971): "Productive Efficiency in the Steam-Electric Generating Industry", *Journal of Political Economy* 79, 878-886.

Shephard, R.W. (1953): *Cost and production functions*, Princeton University Press, Princeton.

Simar, L. (1992): "Estimating efficiencies from frontier models with panel data: a comparison of parametric, non-parametric and semi-parametric methods with bootstrapping", *Journal of Productivity Analysis* 3, 167-203.

Simar, L. (1996): "Aspects of statistical analysis in DEA-type frontier models", *Journal of Productivity Analysis* 7 (2/3), 177-185.

Simar, L. and P. W. Wilson (1998): "Sensitivity analysis of efficiency scores: how to bootstrap in nonparametric frontier models", *Management Science* 44(11), 49-61.

Sitorus, B. L. (1967): "Productive Efficiency and Redudant Factors of Production in Traditional Agriculture of Underdeveloped Countries: A Note on Measurement", *Western Farm Economic Association, Proceedings 1966*, Pullman, Washington, 153-158.

Solow, R. A. (1957): "Technical change and the aggregate production function", *Review of Economics and Statistics* 39, 312-320.

Timmer, C. P. (1971): "Using a Probabilistic Frontier Production Function to Measure Technical Efficiency", *Journal of Political Economy* 79, 776-794.

Thompson, R.G. and R.M. Thrall (1993): "Need for MS/OR in Public Policymaking", in Rhodes, E.L. (ed), *Public policy applications of management science, Applications of Management Science* 7, 3-21, JAJ Press, Greenwich.

Wicksell, K. (1893): *Über Wert, Kapital und Rente*, Jena.

Walters, A. A. (1963): "Production and cost functions: An econometric survey". *Econometrica*, 31(1-2), 1-66.

Weston, H. (1976): "The Estimation of Marketing Efficiency", *European Journal of Marketing*.

Zuckerman, H. (1987): "Citation analysis and the complex problem of intellectual influence", *Scientometrics* 12(5-6), 329-338.