

Tienrakennusteknologian analysointi translog-kustannusfunktiolla

ANTTI TALVITIE — CATHARINA SIKOW

1. Johdanto

Artikkelissa raportoidaan tutkimusta, jossa on analysoitu tie- ja vesirakennuslaitoksen (Tv1) tienrakennusteknologiaa translog-kustannusfunktiota käyttäen. Estimoidun kustannusfunktion avulla tarkastellaan Tv1:n tienrakennustoiminnan tuottavuutta viimeisenä kymmenenä vuotena ja tehdään politiikkaehdotuksia tuottavuuden parantamiseksi ja tie-laitoksen organisaation uudistamiseksi.

Näin laajamittaista analyysia tienrakentamisen tekniikasta ei ole aikaisemmin tehty. Useimmat tiepiirin tehokkuutta mittaavat tunnusluvut perustuvat yksikköhintavertailuihin, joissa kaikissa skaalatuoton asteen on oletettu olevan vakio. Kuitenkin esim. *Walters* (1963), *Meyer, Kain ja Wohl* (1965) sekä erityisesti *Keeler ja Small* (1977) ovat tutkimuksissaan puuttuneet tästä aiheutuviin ongelmiin. Muilla valtionhallinnon säännöstelyn alaisilla aloilla tuotantoteknologian analyyseja on tehty enemmän. Esim. *Keeler* (1973) sovelsi translog-funktiota rautatieliikenteen skaalauksen arviointiin. *Spady ja Friedlaender* (1978) sekä *Wang Chiang ja Friedlaender* (1982 ja 1985) tutkivat sen avulla Yhdysvaltain säännöstellyn kuljetussektorin tuotantoprosessia ja *Tauchen, Fravel ja Gilbert* (1983) käyttivät sitä linja-autoliikenteen skaalauksen määrittämiseen.

Tie- ja vesirakennuslaitoksen organisatorinen rakenne muodostuu keskushallinnosta (TVH) sekä 13 tie- ja vesirakennuspiiristä. TVH vastaa toimintaohjeiden ja standardien antamisesta ja tehokkuuden analysoimisesta. Piirit toteuttavat, osin itsenäistä päätösvaltaa käyttäen, toimintaohjeiden ja tiepolitiikan mukaisia toimenpiteitä.

Estimointitulosten mukaan tienrakennus ei Suomessa ole tehokkaasti organisoitu. Skaa-

laetuja menetetään sen takia, että piirien lukumäärä on liian suuri ja piirien koko liian pieni. Kustannustehokkuutta voitaisiin lisätä paitsi piirikohtaisen tuotannon volyyymia kasvattamalla myös kiinnittämällä huomiota henkilöstön määrään ja työn nopeuteen.

2. Translog-funktio ja havaintoaineisto¹

Tienrakennuksen kustannuksiin vaikuttavat panosten hinnat, tuotannon määrä sekä nk. management-tekijät, joihin tiepiirin johto voi omilla toimenpiteillään vaikuttaa. Trendimuuttujan voi ottaa mukaan kuvastamaan teknistä kehitystä. Funktionaalisesti kustannusfunktiolla on seuraava muoto:

$$(1) \ln C = f(\ln P_i, \ln Y_j, \ln M_k, \ln T).$$

missä C = tienrakennuksen kokonaiskustannukset

P_i = panoshinnat $i = 1, \dots, I$;

Y_j = tuotoksen määrä $j = 1, \dots, J$;

M_k = johdon toimenpiteet $k = 1, \dots, K$;

T = Trendimuuttuja

Shephardin lemman avulla tästä voidaan johtaa panosten kustannusosuudet $S_i = f(\ln P_i, \ln Y_j, \ln M_k, \ln T)$:

$$(2) S_i = \frac{x_i p_i}{C} = \frac{\partial C}{\partial p_i} \frac{p_i}{C} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln p_i},$$

jossa x_i kuvaa tuotantoon käytetyn panoksen i määrää.

Havaintoaineistoksi muokattiin Tv1:n piirikohtainen 10 vuoden ajanjakson (1978–88) kattava aikasarja sekä hankekohtainen yli sata tiehanketta käsittävä satunnaisotos.

Panoshintoina käytettiin miestyön, kone-työn, kuljetusten ja materiaalien yksikköhintoja. Tuotoksen (mitattuna kuutiometreinä) osalta tienrakentaminen jaettiin kolmeen

luokkaan tien leveyden mukaan sekä ns. könttäprojekteihin. Leveysluokiksi määriteltiin ≤ 6.5 m, $7-8.5$ m, ≥ 9 m. Könttäprojekteilla tarkoitetaan pieniä hankkeita, kuten risteysjärjestelyjä, pyöräteitä, levähdysalueita tai vähäisiä liikenneturvallisuusparannuksia. Management-muuttujiksi määriteltiin työn nopeus, urakointiaste sekä vakinaisen henkilöstön lukumäärä. Dummy-muuttujia käytettiin kuvaamaan piirivaikutusta. Trendimuuttujalla otettiin huomioon tienrakennustoiminnassa tapahtunut tekninen kehitys.

Parametrien estimoinnissa käytettiin *Zellnerin* (1962) kehittämää *seemingly unrelated regression* -menetelmää. Siinä parametrien arvot saadaan estimoimalla simultaanisesti ryhmä yhtälöitä, so. kustannusyhtälö yhdessä kustannusosuusyhtälöiden kanssa, joiden välillä on yhteisiä parametrirajoituksia.

3. Separoituvuus- ja aggregointitestit

Mallinrakentajat joutuvat useimmiten tyytymään aggregoituun dataan, kuten kokonaispanoksiin tai -tuotoksiin, koska disaggregoidun datan kokoaminen ja työstäminen on, jollei mahdotonta, niin aikaavievää ja kallista. Tämä kuitenkin edellyttää, että funktio on separoituva kyseisten kokonaisuuttujen suhteen. Separoituvuus tarkoittaa, että separoituvan ryhmän rajatransformaatio-suhteet ovat riippumattomia ryhmän ulkopuolelle jäävien tekijöiden määrien muutoksista, ts.

$$(3) \frac{\partial \text{MRT}_{ij}}{\partial x_k} = 0,$$

$$\text{jossa } \text{MRT}_{ij} = \frac{\partial C / \partial x_i}{\partial C / \partial x_j}$$

Separoituvuus mahdollistaa monivaiheisen estimoinnin, ja suurten muuttujamäärien käsittelyn. Se on myös edellytys päätöksenteon hajauttamiselle ja siten vaiheittaiselle optimoinnille. Käytännössä tämä voisi merkitä mahdollisuutta päätösvallan delegoimiseen keskushallinnolta piirin tasolle.

Tuotantofunktion separoituvuus tarkoittaa myös sitä, että se voidaan kirjoittaa eksplisiiti-

tiseen muotoon, jossa tuotos on yhtälön vasemmalla ja panokset sen oikealla puolella. Tämä teknologian ominaisuus, jonka mukaan tuotannon kasvu-ura on origon kautta kulkeva suora ja joka tunnetaan nimellä homoteettisuus, on yhtäpitävä sen kanssa, että kustannusfunktio on separoituva panos- ja tuotostekijöiden suhteen.

Aina 1970-luvun alkuun saakka lähes kaikissa tuotantofunktio tutkimuksissa muuttujien oletettiin olevan *a priori* separoituvia. Vasta vuosina 1973 ja 1974 *Berndt* ja *Christensen* kehittivät empiiriset menetelmät separoituvuuden testaamiseen. *Denny* ja *Fuss* (1977) osoittivat myöhemmin, että *Berndtin* ja *Christensenin* ehdot olivat liian rajoittavia, koska ne käsitelivät translog-funktiota eksaktina tulkintana. Tässä tutkimuksessa käytettiin *Dennyn* ja *Fussin* approksimatiivista lähestymistapaa, joka tekee mahdolliseksi parametrirajoituksen ilmaisemisen derivaattoina ja näiden välisten riippuvuussuhteiden tutkimisen.

3.1. Separoituvuustestin tulokset

Tienrakentamisen tuotantoprosessin analysoiminen aloitettiin tutkimalla panoshintojen ja management-tekijöiden sekä panoshintojen ja tuotannon välistä (vahvaa) separoituvuutta. Molemmat hypoteesit hyväksyttiin. Tulos tarkoittaa, että kustannusosuusyhtälöt ovat riippumattomia sekä management-muuttujista että piirin tuotannon tasosta, sillä vahvan separoituvuuden tapauksessa hypoteesin ehto voidaan tulkita myös kustannusosuusyhtälöistä käsin. Käytännössä tulos merkitsee sitä, että esimerkiksi työn nopeudella ei ole vaikutusta panosten välisiin rajasubstituutiosuhteisiin vaan että tuotannon tekijöitä on yhtä helppo korvata toisillaan tehtiinpä työt nopeasti tai hitaasti. Myöskään urakointiaste tai vakinaisen henkilöstön määrä ei vaikuta panosten korvattavuuteen.

Tienrakentamisen tuotantofunktio on siis homoteettinen, eli tuotannon kasvu-ura on origon kautta kulkeva suora. Homoteettisuudesta seuraa, että skaalatuotot määräytyvät ainoastaan tuotannon tason (ja mahdollisesti

management-muuttujien) mukaan. Ne eivät riipu tuotannontekijöiden hinnoista ja määristä tapahtuneista suhteellisista muutoksista. Tvl:n kannalta ei ole hyvä, koska laitoksen on huomattavasti helpompi vaikuttaa käyttämiensä panosten määrään kuin tuotannon tasoa, josta päätetään poliittisella tasolla.

Kolmanneksi testattiin ja hylättiin tuotoksen ja management-tekijöiden sekä vahva että heikko separoituvuus. Piirin johdon toimenpiteet, so. tuotannon nopeus, urakointiaste ja vakituisten henkilöstön määrä sekä tuotannon taso riippuvat toisistaan. Siten niitä ei voida optimoida toisistaan erillään.

Nämä tulokset merkitsevät sitä, että management-tekijöillä on vaikutusta kahden eri tuotannon rajatransformaatiosuhteeseen. Yhden leveysluokan tuotoksen transformoiminen riippuu siitä, miten suuren osuuden tuotannostaan piiri urakoi, miten nopeasti se aikaansaa tuotoksensa tai mikä on sen vakinaisen tuotantohenkilöstön määrä.

Separoituvuustestien tulokset ovat intuitiivisesti mielekkäitä. Hyväksyttynä hypoteesina on tässä vaiheessa malli, joka voidaan kirjoittaa muotoon: $f(\ln Y_j, \ln M_k) + g(\ln P_j)$.

3.2. Tuotoksen aggregointitestit

Edellä hyväksyttiin hypoteesi kaikkien tuotosten ja panoshintojen välisestä vahvasta separoituvuudesta, mutta ei lainkaan separoituvuutta tuotosten ja management-tekijöiden välille. Tämä merkitsee sitä, ettei tuotokselle kokonaisuudessaan ole löydettävissä konsistenttia aggregaattia, joka olisi riippumaton tuotannon ulkopuolisista tekijöistä.

Tuotos voi kuitenkin olla osittain separoituva, ts. kahdella tai useammalla tuotoksella voi olla yhteneväinen rakennustekniikka. Teoriassa tuotos voitaisiin aggregoida usealla eri tavalla. Käytännössä monet näistä mahdollisuuksista ovat kuitenkin epärelevantteja tai vailla todellista teknistä yhteyttä.

Näiden testien yksityiskohtainen esittely on tässä yhteydessä tarpeetonta (ks. Talvitie ja Sikow 1989). Testaus aloitettiin tutkimalla, olisiko toisesta ja kolmannelle leveysluokasta (7–8.5 m ja ≥ 9 m) mahdollista muodostaa

translog-aggregaatti tai vastaavasti, olisiko ensimmäisellä leveysluokalla (≤ 6.5 m) ja könttäriryhmällä yhteneväinen rakennustekniikka. Translog-aggregaatin olemassaolo merkitsisi esim. tuotosten 2 ja 3 osalta sitä, että niistä voitaisiin muodostaa sellainen translog-muotoinen määräindeksi, johon ulkopuoliset tekijät, siis muut tuotokset, panoshinnat tai niiden management-tekijät eivät vaikuta.

Sekä intuitiivisesti mielekkäät että intuitiivon vastaiset aggregointimahdollisuudet hylättiin. Tuotannon aggregoinnin osalta tulokset merkitsevät sitä, että tienrakennustuotanto vaatii leveysluokittain erilaista tekniikkaa eikä tuotoksesta voida muodostaa translog-aggregaattisuuretta. Tielaitos on siten monituote-yritys, jossa tienrakentamista koskevat päätökset määrärahojen käytön, henkilöstön määrän, rakentamisen nopeuden ja urakointiasteen suhteen olisi tehtävä samanaikaisesti ja mieluummin piirin tuotantotoimialan johdossa kuin keskushallinnossa (TVH:ssa).

3.3. Hyväksytty hypoteesi

Lopuksi kerrataan lyhyesti hyväksytty malli: panoshinnat ovat vahvasti separoituvia sekä management muuttujista että tuotannon tasosta; sitä vastoin tuotanto ei ole vahvasti eikä heikosti separoituva management-muuttujien suhteen. Tvl:n kustannusfunktio on siten supistunut translog-muotoon:

$$(4) \ln C = a_0 + \sum a_i \ln P_i + \sum b_j \ln Y_j + \sum c_k \ln M_k + \\ 1/2(\sum \sum d_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum \sum e_{ij} \ln Y_i \ln Y_j + \\ \sum \sum f_{kl} \ln M_k \ln M_l) + \sum \sum m_{jk} \ln Y_j \ln M_k.$$

Yhtälön (2) perusteella panosten kustannusosuudet ovat riippuvaisia ainoastaan toisten panosten hinnoista, mutta eivät lainkaan tuotannon tasosta tai management-muuttujista:

$$(5) S_i = a_i + \sum d_{ij} \ln P_j.$$

Käytännön toiminnan ohjaamisen kannalta tulos merkitsee sitä, että tuotantoa ja management-tekijöitä koskevat päätökset voidaan tehdä piirin johdosta erillään panosmarkkinoista. Keskushallinnon huoleksi jäisi vapaan kilpailun edistäminen tuotannontekijämarkkinoilla.

4. Substituutio- ja hintajoustopot

Panosten välinen substituutiojousto, jota merkitään σ_{ij} :lla, on tärkeä tekijä tutkittaessa yrityksen tuotantorakennetta. Se mittaa kahden panostekijän suhteen prosenttimuutosta, joka aiheutuu niiden hintasuhteen muututtua 1 prosentilla. Jos $\sigma_{ij} > 0$, panokset ovat toisilleen substituutteja, jos $\sigma_{ij} < 0$, niin ne ovat toisiaan täydentäviä, ja jos $\sigma_{ij} = 0$, panoksia käytetään tuotantoprosessissa kiinteässä suhteessa. Taulukossa 1 on esitetty Tvl:n kustannusfunktiosta lasketut substituutiojoustopot käyttämättä *Allenin* (1938) osittaisjoustopot määrittelmää.

Taulukko 1. Substituutiojoustopot

Parametri	Arvo	Hajonta	
σ_{12}	0.72	0.024	
σ_{13}	0.65	0.047	1 = miestyö
σ_{14}	0.84	0.024	2 = konetyö
σ_{23}	0.84	0.016	3 = kuljetus
σ_{24}	0.66	0.072	4 = materiaalit
σ_{34}	0.54	0.058	

Joustopot ovat positiivisia, joten kaikki tietuotannon panokset ovat toisiaan korvaavia. Substituoitavuus on kuitenkin kaikkien panostekijöiden kohdalla pientä. Minimissään se on kuljetusten ja materiaalien (σ_{34}) välillä ja suurimmillaan miestyön ja materiaalien (σ_{14}) sekä konetyön ja kuljetusten (σ_{23}) välillä.

Substituutiojoustopot arvot poikkeavat merkittävästi sekä nollassa että ykkösestä, mikä merkitsee, että panoksia ei käytetä tuotantoprosessissa kiinteässä suhteessa, vaan että niiden korvaaminen toisillaan on mahdollista. Tulokset osoittavat, että Leontief-tyyppinen tuotantorakenne ei ole vallitseva eikä Cobb-Douglas-muotoinen funktio riittävä kuvastamaan tienrakentamisen tekniikkaa.

Allen (1938) on osoittanut, että panoksen hintajoustopot saadaan suoraan substituutiojoustopot ja kustannusosuuden tulona. Hintajoustopot ovat taulukossa 2. Kaikki tietuotannon panostekijät ovat normaaleja hyödykkeitä; niiden kysyntä pienenee, kun hinta nousee ($E_{ii} < 0$). Joustopot ja ristijoustopot ovat arvoil-

Taulukko 2. Hintajoustopot E_{ij} (keskihajonta)

	miestyö	konetyö	kuljetus	materia
miestyö	-0.16 (0.009)	0.24 (0.024)	0.21 (0.027)	0.27 (0.024)
konetyö	0.19 (0.018)	-0.15 (0.009)	0.22 (0.017)	0.18 (0.029)
kuljetus	0.16 (0.031)	0.20 (0.030)	-0.13 (0.015)	0.14 (0.018)
materia	0.13 (0.024)	0.11 (0.026)	0.09 (0.020)	-0.09 (0.016)

taan lähellä nollaa ja panosten kysyntä pysyy melko vakiona hinnanmuutoksista huolimatta.

5. Piirin johdon rooli

Management-muuttujien vaikutukset kustannuksiin tutkittiin laskemalla kustannusten joustopot management-muuttujien suhteen. Tulokset on esitetty taulukossa 3. Työn nopeuden vaikutus kustannustehokkuuteen on huomattava: 1 prosentin lisäys nopeudessa vähentäisi kokonaiskustannuksia koko maassa keskimäärin 0.28 prosenttia. Jokaisessa piirissä kustannuksia säästäisi se, että keskityttäisiin vuosittain nykyistä harvempaan määrään hankkeita ja rakennettaisiin ne nopeammin valmiiksi.

Vertailun vuoksi mainittakoon, että optimi-ajoitustutkimuksen (*Projektikonsultit* 1986) mukaan piirien olisi mahdollista tehdä hankkeet 30 prosenttia nykyistä nopeammin, jolloin kokonaiskustannusten säästö olisi 11 prosenttia. Mallin implikoima säästö olisi *ceteris paribus* keskimäärin 9 prosenttia, mikäli työt tehtäisiin 30 prosenttia nykyistä nopeammin.

Urakointiasteen saama positiivinen joustopot on intuition vastainen, sillä Tvl:n kohtaamalla kilpailullisilla markkinoilla urakointiasteen lisäyksen pitäisi alentaa kokonaiskustannuksia. On oletettavaa, että käytetty muuttuja toimii proxyna jollekin muulle ilmiölle. Kilpailuttamisen johdosta piirin vakituinen miestyövoima, joka ei ole irtisanottavissa, ei aina ole tehokkaasti työllistetty, minkä vuoksi sinänsä kustannuksia säästävää urakoiminen voi olla

Taulukko 3. Management-muuttujien kustannusjoustot

Piiri	m1	m2	m3
Uusimaa	-0.21	0.55	-0.38
Turku	-0.32	0.35	1.63
Häme	-0.29	0.72	0.18
Kymi	-0.30	0.38	1.33
Mikkeli	-0.25	0.54	1.09
P-Karjala	-0.24	0.66	1.21
Kuopio	-0.35	0.68	1.02
K-Suomi	-0.20	0.59	0.50
Vaasa	-0.21	0.56	0.45
K-Pohjanmaa	-0.19	0.51	1.78
Oulu	-0.26	0.58	1.20
Kainuu	-0.38	0.71	1.03
Lappi	-0.40	0.56	0.45
Keskiaervo	-0.28	0.57	0.88

m1 = työn nopeus

m2 = urakointiaste

m3 = vakituinen henkilöstö

alentamatta piirin kokonaiskustannuksia. Toisaalta kokonaiskustannukset, kokonaistuotos ja urakointiaste ovat kaikki kasvaneet ajan mukana samansuuntaisesti.

Lisäevidenssiä kilpailuttamisen ja urakoinnin edullisuuteen antaa TVH:n (1988) tekemä Nykytilatutkimus. Sen mukaan kilpailuttaminen kannattaa; urakoimisesta saatu rakennuttajan kokonaisuus olisi 10–15 prosenttia kokonaisrahoituksesta.

Vakituisten henkilöstön määrän lisääminen 1 prosentilla lisää kustannuksia keskimäärin 0.88 prosenttia, kun miestyön osuus kokonaiskustannuksista on n. 32 prosenttia. Useimmissa piireissä kustannukset ovat ylijoustavat miestyön määrän suhteen. Uudenmaan negatiivinen jousto selittyy piirin mahdollisuudella käyttää vankityövoimaa.

6. Tuotannon erityispiirteet

Käytännön kannalta kustannusfunktion tärkeimpänä tavoitteena on paljastaa Tvl:n tuotantoteknologian erityispiirteet. Tähän mennessä ei ole pystytty selvittämään, vallitseeko tienrakentamisessa skaalaetuja (*economies of scale*) tai onki diversifioitu tuotanto edullisempaa kuin erikoistuminen yhteen eli löytyy-

kö tienrakentamisesta yhteistuotannon etuja (*economies of scope*).

6.1. Skaalatuotot

Tavallisesti skaalatuottojen olemassaoloa mitataan laskemalla kustannusjousto tuotannon suhteen. Prosessilla sanotaan olevan kasvavat, vakioiset tai vähenevät skaalatuotot, mikäli kustannusjouston arvo on pienempi, yhtä suuri tai suurempi kuin yksi. On tärkeää pitää mielessä, että tämä skaalatuottojen mitta lasketaan olettamalla, että muutokset kaikissa tuotoksissa ovat suhteellisesti yhtä suuret.

Mallin hyväksytyssä versiossa skaalaetujen aste on keskimäärin 0.65, ts. yhden prosentin tuotannon kasvattaminen lisäisi kustannuksia vain 0.65 prosenttia. Tämä merkitsee sitä, että keskimäärin piiri toimii huomattavasti tuotanto-optimisensa alapuolella. Tienrakentaminen ei näytä olevan taloudellista pienillä volyyymeilla. Itse asiassa optimipiste, jolloin skaalajousto olisi tasan yksi, näyttäisi asettuvan lähes 4 miljoonan kuution tasolle. Suomen suurin piiri, Uusimaa, rakentaa vain n. 2.5 miljoonaa kuutiota. Tästä seuraa, että tämän päivän tuotantorakenteella riittäisi 4–5 piiriä, nykyisten 13 sijasta, tuottamaan Tvl:n vuosittain rakentamat n. 15 miljoonaa kuutiota tietä.

Sytä näin valtaviin skaalatuottoihin on monia. Tuotantontekijöiden, etenkin koneiden mutta myös miestyön, jakamattomuus tuo etuja hankekoon suurentuessa. Yleismiehet ja -koneet saattavat olla tehottomampia kuin erikoismiehet ja -koneet. Leveä tie voi olla nopeampi ja helpompi tehdä per tien leveysmetri, koska sitä voidaan tehdä tehokkailla koneilla miestyövoimaa lisäämättä.

Toisaalta piirin johdon on vaikea vaikuttaa tuotantopäätöksillään skaalaetujen optimaalisuuteen. Koska tienrakentamisen kustannusfunktio on homoteettinen panostekijöiden määrien muutoksilla ei voida vaikuttaa skaalaetuihin. Tielaitoksen on mahdotonta päästä sellaiseen optimiin, jossa rajakustannukset olisivat yhtä suuret kuin keskimääräiset kustannukset, koska se ei itse voi päättää tuotantonsa tasosta tai piirin lukumäärästä ja kos-

ka se ei voi vähentää vakituisen henkilöstön määrää eikä edes päättää hankkeiden lukumäärästä.

Tämän takia piirin johdon ainoaksi tehokkaaksi keinosi kustannustehokkuuden lisäämiseksi jää management-tekijöillä operoiminen. Malli paljastaa, että vakituisen miestyön pienikin vähentäminen kasvattaa huomattavasti piirin kustannustehokkuutta sekä suoraan että välillisesti tuotantosuhteiden muuttumisen kautta. Toisaalta myös työn nopeuttaminen alentaa kustannuksia. On kuitenkin pidettävä mielessä, että tienrakennushankkeen ajoitukseen ja toteutukseen vaikuttavat eri säädökset ja määräykset sekä eri tasoilla, mm. eduskunnassa ja liikenneministeriössä, tehdyt päätökset, joihin piirin johdon on usein mahdotonta vaikuttaa. Vastapainoksi on todettava, että piirien intressinä on ollut pitää runsaasti vakituista henkilökuntaa, koska siten voidaan pitää useita hankkeita vireillä ja varmistaa lisämäärärahojen saanti lomautuksilla uhkaamalla.

Myös yksittäisen tuotoksen suhteen voidaan skaalaetujen aste laskea. Se saadaan vertaamalla tuotoksen j suhteen laskettua kustannusjoustoa sen kustannusosuuteen (yksityiskohdista ks. *Baumol, Panzar ja Willig 1982*).

Suhteellisesti suurimmat skaalaedut saataisiin lisäämällä kolmannen leveysluokan (≥ 9 m) tai könttähankkeiden tuotosta muiden pysyessä vakiona. Vähentämällä könttähankkeiden vuosittaista lukumäärää tai organisoimalla ne alueellisesti suuremmiksi kokonaisuiksi piirin kustannustehokkuus paranisi. Näiden hankkeiden sijoittumiseen, mittakaavaan tai lukumäärään ei piiri kuitenkaan yleensä voi vaikuttaa, sillä niitä koskevat päätökset tapahtuvat poliittisella tasolla Tvl:n ulkopuolella.

Sitä vastoin leveimmän tieluokan (moottoritiet ja päätiet) rakentamisen volyymia voisi kasvattaa. Se olisi myös kysynnän kannalta tarpeellista. Myös kahdessa kapeimmassa luokassa vallitsevat kasvavat skaalatuotot. Näin ollen nykyisellä tuotantokapasiteetilla ja piirimäärällä Tvl:n tuotos on alimitoitettua niin koko laitoksen kuin tuotokohtaisten kustannusjoustojen perusteella.

Skaalaetujen käsite siis kertoo, minkälaisia

teknisiä etuja (tai haittoja) yritykselle aiheuttaa, kun tuotannon määrää kasvatetaan. Se ilmaisee optimaalisen yrityskoon annetulla tuotosvalikoimalla, mutta se ei kerro, minkälainen tuotokombinaatio olisi taloudellisin. Jotta tuotoksen optimaalisesta koostumuksesta voitaisiin ylipäänsä jotakin sanoa, on tutkittava myös ns. yhteistuotannon etuja.

6.2. Yhteistuotannon edut

Sikäli kuin Tvl:ta käsitellään monituoteyrityksenä, on tärkeä tietää, onko tuotantotoiminnassa olemassa yhteistuotannon etuja. Tätä termiä käytetään samassa merkityksessä kuin *Harmatuck (1981)* tutkimuksessaan; yhteistuotannon edut ovat olemassa silloin kun tuotannon diversifioiminen useaan tuotteeseen on tehokkaampaa kuin erikoistuminen yhteen.

Baumol (1977) on osoittanut, että tuotantoprosessissa vallitsee yhteistuotannon etu, jos

$$(6) \quad C(Y_1 + \dots + Y_m) < C(Y_1) + \dots + C(Y_m).$$

Siinä tapauksessa, että ylläoleva kaava pätee aidosti ja globaalisti koko yrityksen tuotantomahdollisuuksien alueella, kyseessä on luonnollinen monopoli. Tällöin minkä hyvänsä tuotosyhdistelmän tuottaminen on aina yhdelle yritykselle edullisempaa kuin usealle. On kuitenkin mahdollista, että yhteistuotannon etu saavutetaan vain tietyillä tuotosvektoreilla. Tämä puolestaan merkitsee sitä, että markkinakysynnän osoittama tuotantomäärä tietyllä tuotokombinaatiolla voidaan tuottaa edullisemmin yhdessä yrityksessä kuin millään yhdistelmällä pienempiä yrityksiä.

Tienrakentamisen keskimääräisellä tuotokombinaatiolla, panoshinnoilla ja management-muuttujilla Tvl ei saa etua yhteistuotannosta, vaan $\Sigma C(Y_j) < C(\Sigma Y_j)$. Yhtenä syynä tähän yllättävään tulokseen voidaan pitää eri piirien tuotokombinaatiota ja liian pientä tuotannon volyymia suhteessa hankkeiden lukumäärään. Koska nykyinen tuotokombinaatio ei ole syntynyt tuotannollisten toimenpiteiden seurauksena vaan pikemminkin rakennettaviksi hyväksytyjen hankkeiden summana, tuotantotekniikkaa ei ole kyetty käyttämään optimaalisesti. Voidaankin sanoa, että

kustannusfunktio osoittaa erikoistumisen kannattavan.

Yhteistuotannon aste, jota merkitään SC:llä, saadaan kaavasta (*Baumol, Panzar, Willig (1982)*):

$$(7) \quad SC = (\Sigma C(Y_i) - C(y))/C(y).$$

Jos $SC > 0$, yhteistuotanto on erikoistumista edullisempaa. Tvl:n tapauksessa yhteistuotannon asteeksi havaintoaineiston keskiarvopisteessä saatiin -0.40 eli erikoistuminen kannattaisi.

Yhteistuotannon aste voidaan laskea myös tuotoskohtaisesti. Tvl:n havaintoaineistossa tuotosluokkien 1 (≤ 6.5 m) ja 3 (≥ 9 m) tuotannossa yhteistuotannon aste on nolla, olettaen ettei muiden leveysluokkien tuotantoa muuteta; ne on yhtä tehokasta tuottaa yhdessä tai erikseen muiden tuotosten kanssa. Tuotosluokissa 2 (7—8.5 m), johon osuus lähes puolet tietuotannosta ja 4 (könttähankeet) erikoistuminen kannattaa.

Tuotoskohtaiset yhteistuotannon haitat johtuvat todennäköisesti työvoimasta. Työporukka, joka tavanomaisesti rakentaa kaksikaistaisia teitä tai pikkuhankkeita, erikoistuu niihin. Se ei hanki tai saa niitä taitoja, jotka tarvitaan moottoriteiden ja niihin liittyvien ramppien ja pääsyteiden (≤ 6.5 m) rakentamisessa, koska niiden rakennusteknologia on erilainen ja muuttuu nopeasti. Tämä on tärkeä tulos ja viittaa joustavan työvoimapolitiikan ja jatkuvan koulutuksen tärkeyteen.

7. Piiridummyt ja trendi

Tvl:n kustannusfunktion tärkeimpänä tehtävänä on ollut selvittää tierakennusteknologian yleisiä piirteitä. Siitä johdetulla translog-indeksillä (ks. seuraava kappale) voidaan tutkia kustannustehokkuus- ja tuottavuuseroja piirien välillä sekä yhden piirin tai koko maan ajallista kehitystä. Piirikohtaisia eroja voidaan arvioida myös dummy-muuttujien avulla, ja yleiskäsitys koko laitoksen ajallisesta teknisestä kehityksestä saadaan testaamalla trendin merkitsevyyttä.

Kokonaisuutena ottaen Tvl:n 13 tiepiirin

dummyt olivat tilastollisesti merkitseviä. Yksittäin katsottuna dummy-muuttujien arvot olivat kuitenkin lähellä nollaa ja useimmat tilastollisesti ottaen nolla. Tvl:ssä onkin ainoastaan yksi tai kaksi piiriä, jotka tilastollisesti poikkeavat peruspiiristä (Uusimaa). Siten geologiset, maantieteelliset, ilmastolliset, koulutukselliset tai muut tekijät, jotka eivät ole muuttujina kustannusfunktiossa, mutta joiden voisi olettaa aiheuttavan eroja piirien välillä, ovat merkityksettömiä. Tie- ja vesirakennuspiirit ovat samanlaisia; erot kustannuksissa aiheutuvat eroista panoshinnoissa, tuotannon tasossa ja management-tekijöissä.

Trendi-muuttuja asetettiin Tvl:n kustannusfunktioon olettaen *a priori*, että se on vahvasti separoituva niin tuotannon tason kuin management-muuttujienkin suhteen.

Translog-funktiossa teknisen kehityksen viinoutta mitataan panoshintojen ja trendin välisillä ristikkäistekijöillä. Teknisen kehityksen sanotaan olevan panosta i säästävää (käyttävää), jos panoksen i kustannusosuus alenee (nousee) ajan myötä. Tvl:n kustannusfunktioista tekninen kehitys saadaan derivoimalla kustannusosuusyhtälö ajan suhteen.

Mallin antamien tulosten mukaan tierakennustekniikan kehitys on ollut vinoa. Tekninen kehitys on ollut laadultaan miestyötä säästävää ja konetyötä lisäävää. Toisaalta se on ollut kuljetusten kustannusosuutta pienentävää mutta materiaalien kustannusosuutta kasvattavaa. Puhdasta teknistä kehitystä miestuotannossa ei kuitenkaan ole 10 viime vuoden aikana ilmennyt, vaan trendi-parametrin arvo yksinään on tilastollisesti merkityksetön.

8. Tvl:n tietuotannon tehokkuus

Translog-kustannusfunktion avulla on mahdollista laskea tunnusluvut tuottavuudelle (prosenttinen muutos tuotoksessa per prosenttinen muutos panoksissa) ja taloudellisuudelle (prosenttinen muutos painotetuissa yksikkökustannuksissa) (Laskentamenetelmästä, ks. *Talvitie ja Martikainen, 1989*).

Taulukon 4 numerot kuvaavat prosentuaalista muutosta perusvuoden 1980 ja vuoden

1988 välisenä aikana. Sen mukaan tienrakentamisen yksikkökustannukset olivat vuonna 1988 yhtä suuret kuin vuonna 1980. Yksikkökustannusta ovat kasvattaneet miestyökustannukset yli 7 prosenttia ja koneet ja kuljetukset molemmat noin 3 prosenttia. Materiaalikus-tannukset ovat halventaneet tienrakentamista yli 11 prosenttia, ja loppu etu on saatu pienestä tuottavuuden lisäyksestä (yksikkökustannusero = panoshintaero—tuottavuus, siis: $7.42 + 2.97 + 3.34 - 11.21 = 2.51 - 2.33 = 0.18$).

Taulukko 4. Tienrakentamisen tehokkuus

Perusvuosi 1980	1988
Yksikkökustannusero	0.18
* Palkat	7.42
* Koneet	2.97
* Kuljetus	3.34
* Materiaalit	-11.21
Summa	2.51
Tuottavuus	2.33
Rakentamisen nopeus	8.66
Henkilöstö	4.11
Skaaläetu	-1.28
Tekninen muutos	-9.15

Palkat ovat kohonneet tuottavuutta enemmän; tähän ei tielaitos ole voinut vaikuttaa. Sensijaan koneissa ja kuljetuksissa hintojen kasvu on kurissa. Ne määräytyvät markkinoilla, jotka TVH yhdessä muiden kanssa on saanut aikaan eikä, kuten palkat, neuvottelupöydässä, jossa Tvl:n tuotanto-management ei ole mukana. Materiaalihinnoissa näkyy öljyn hinnan lasku, joka selittää puolet; toiset puolet tulee hyvästä työsuunnittelusta ja kilpailuttamisesta.

Tuottavuuden kasvu on ollut vähäistä, kuten kustannusfunktio jo osoitti, pari prosenttia vuosien 1980 ja 1988 välillä. Mielenkiintoinen on tuottavuuden jako komponentteihin. Tielaitos on nopeuttanut rakentamista saaden siitä lähes 9 prosentin edun; omaa henkilökuntaa on vähennetty luonnollisen poistuman sallima täysmäärä: etu 4 prosenttia. Vaikka urakkakokoa on varsinkin etelässä suurennettu, on skaalahaittaa koettu prosentin verran ja tienrakentamisen tekninen kalteutuminen on ollut melkein 10 prosenttia.

Viimeinen havainto on tärkeä. Tänään rakennettu tie on monimutkaisempi, kalliimpi ja paremmin varustettu tie kuin vuonna 1980 rakennettu tie. Tekninen kalleutuminen on kokonaan katettu muita tuottavuuskomponentteja parantamalla.

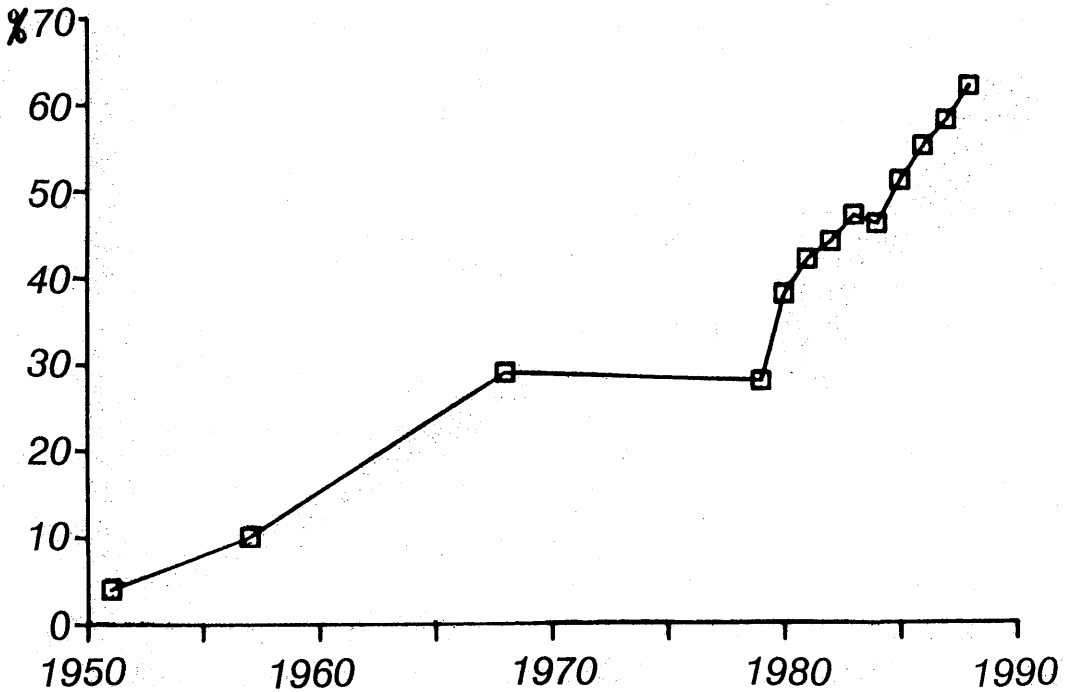
Nämä tulokset saattavat tuntua lukijasta hämmästyttäviltä ottaen huomioon teiden huonon kunnon, kasvavat liikenneonnettomuusluvut ja julkisuudessa esitetyt tiedot tie-rahoituksen kasvusta; unohtaa ei sovi myöskään yleistä käsitystä Tvl:n »tehottomuudesta».

Muut numerot tukevat näitä tuloksia. Ehkä paljastavin numero tienteosta on se, että vuonna 1988 tienrakentamiseen käytettiin vain 2 miljoonaa (reaali)markkaa enemmän kuin vuonna 1980, vaikka liikenteen määrä tänä aikana kasvoi 50 prosenttia. Pääteillä liikenteen kasvu on ollut vieläkin suurempi. Koko 1980-luvulla vain kahtena vuotena on tienrakentamiseen käytetty enemmän rahaa kuin vuonna 1988. Tienpidon toisen komponentin, hoidon ja kunnossapidon kustannukset eivät nekään ole sanottavasti kasvaneet.

Urakointiaste on noussut yhdessä edullisen taloudellisuuskehityksen kanssa; siksihän kehitys on tulkittava ottaen huomioon monet kustannuksia kohottavat, Tvl:n ulkopuoliset päätökset ja teknisen kallistumisen kattaminen kustannussäästöillä. Kuvio 1 osoittaa urakoinnin ripeän kehityksen. Vuonna 1978 urakoinnin osuus oli 30 prosenttia, kun vuonna 1988 sen osuus oli noussut jo 65 prosenttiin.

Muut tiedot tukevat kustannusfunktion tuloksia vakinaisen henkilöstön ylimäärästä. Urakoitsijoilla miestyön osuus on 25 prosenttia kustannuksista, kun tielaitoksen omajoh-toisissa töissä prosenttiluku on 40. Osaksi tielaitoksen miestyöpainotteisuus johtuu töiden luonteesta (pieni hanke taajamassa tai syrjäisellä paikkakunnalla), mutta se ei selitä koko eroa.

On muistettava, että niistä tekijöistä, joilla näyttää olevan merkitystä kustannusten alentamiseen — vakituisen henkilöstön vähentäminen, hankkeiden niputtaminen ja lukumäärän rajoittaminen, hankekoon kasvattaminen, tiepiirien yhdistäminen, panosmarkki-



Kuvio 1. Urakalla teettämisen kehittyminen Tie- ja vesirakennuslaitoksessa.

noiden ylläpito (palkkojen ja tuottavuuden yhteennitomiseksi) ja työn nopeuttaminen — yksikään ei ole Tvl:n johdon päätettävissä. Jopa työn nopeus riittää hankkeiden lukumäärästä ja määrärahojen suuruudesta.

Kustannusfunktio ja siitä johdettu translog-indeksi on siten monipuolinen ja valaiseva tapa tutkia tienpidon teknologiaa ja tehokkuutta. Mitä mahtaisi talonrakennussektorin kustannusfunktio kertoa sen taloudellisuudesta, tuottavuudesta ja syistä?

9. Johtopäätökset ja tielaitoksen organisaatio

Translog-malli sopii hyvin kuvaamaan tienrakennusteknologiaa. Sen avulla saatiin uutta tietoa tienrakentamisesta, mm. skaalatuotoista, yhteistuotannosta ja substituoitavuudesta. Tienrakentaminen osoittautui monituoteyrityksen kaltaiseksi, mistä syystä sen tehokkuutta ei voida arvioida pelkästään yksikkökustan-

nuksia vertailemalla; tuotokselle ei ole konsistenttia aggregaattia.

Tiepiirien johdolle tulokset kertovat, että kustannustehokkuutta voidaan lisätä kasvatamalla tuotannon volyymia sekä vaikuttamalla vakinaisen henkilöstön määrän, työn nopeuteen ja urakointiasteeseen. Substioitavuuden huomioonottaminen suunnittelussa edesauttaa tehokkuutta ja lisää panosten korvattavuutta ja kilpailua. Sitä vastoin tuotannollisilla toimenpiteillä ei ole vaikutusta panosten kustannusosuuksiin, jotka eivät myöskään riipu tuotannon management-muuttujista.

Tuloksilla on merkitystä myös Tvl:n tuotanto-organisaatiolle. Päätösvalta ja -vastuu management-muuttujien osalta voidaan ja on syytä delegoida piireihin. Keskushallinnon tehokkaimmaksi vaikuttamiskeinoksi jäisi aidon kilpailun ylläpito panosmarkkinoilla ja työvoiman liikkuvuuden lisääminen. Skaalan kasvattaminen, johon päästäisiin mm. vähentämällä piirien lukumäärää nykyisestä 13:sta

alle puoleen, sanotaan neljään, ja suuremmat urakkakoot mahdollistaisivat teknisen innovaation ja tuotekehittelyyn.

Kustannusfunktion inspiroimat tuotanto-organisaation kehittämiseen tähtäävät ajatukset voidaan laajentaa koskemaan koko Tvl:ta. Nykyisen organisaation haitat on helppo luetella:

- Pienet piirit tekevät organisaation suureksi ja raskaaksi.
- Henkilöstön työllistäminen ja pelkkä piirin olemassaolo vaikuttaa toimenpiteiden valintaan ja määrärahojen jakoon.
- Koko Tvl:n laajuiset neuvottelut, yhteisen strategian puntarointi ja siitä päättäminen on vaikeata jopa mahdotonta.
- Piirien sitoutuminen TVH:n politiikkaan — ellei se merkitse lisärahoitusta piirille — on mahdollista.
- Asiantuntemuksen kehittäminen piirihallinnossa on vaikeaa ja kallista.
- Strateginen johtaminen ja delegointi on kankeata ja organisaatio on tehoton.

Jo tehdyn päätöksen mukaan tielaitoksen yleisjohton »esimiehenä» on 1. 3. 1990 alkaen poliittista luottamusta nauttiva, päätösvaltainen johtokunta. Tämä johtokunta ja Tvl:n piireissä tehtävät vähäiset toimenpiteet eivät voi poistaa jo vanhentuneen organisaation vakavia puutteita. Tvl:n management-rakennetta ja -järjestelmiä tulee nykyaikaistaa.

Johtokunnan alapuolella Tvl:n fyysiseksi organisaatiokeskukseksi voidaan perustellusti ottaa neljä suuraluetta: Pohjois-, Länsi- ja Itä-Suomi sekä Uusimaa. TVH:n pääjohtaja ja ylijohtaja sekä näiden neljän suuralueiden johtajat muodostaisivat tielaitoksen johtoryhmän, joka korvaisi nykyisen kollegion. Tämä rakenne voidaan kuvata seuraavasti:

- Strategian valmistelu ja operatiivinen vastuu on pääjohtajalla ja yllämainitulla johtoryhmällä.
- Johtoryhmän esikuntana TVH valmistelee tiepolitiikan tavoitteet ja suurpiirien määrärahaehdotukset toimenpideluokittain. TVH on vastuussa kehittämisestä ja tutkimuksesta.
- Suuralue on toimeenpaneva yksikkö. Se vastaa suunnittelusta ja tuotannosta omal-

la alueellaan, mutta ei voi poiketa Tvl:n asettamista tavoitteista, normeista ja toimintalinjoista.

- Suuralueen johtoryhmän muodostavat suuralueen johtaja ja alueella olevien nykyisten piirien piiri-insinöörit. Suuralueen johtaja esikuntineen sijaitsee suuralueella.
- Nykyinen piirihallinto on vastuussa perustienpidosta, so. teiden hoidosta ja osasta kunnossapitoa.

Ehdotuksen toteuttaminen toisi monia etuja:

- Koko Tvl sitoutuisi johtoryhmän päätöksiin koska alueelliset johtajat olisivat mukana päätöksenteossa.
- Uusien ideoiden kokeilu, arviointi ja käyttöönotto saisi potkua, koska ylin johto olisi niistä tietoinen ja päättäisi niistä.
- Suuralueet voisivat kilpailla keskenään palveluissa ja tuoda markkinoille uusia palveluja ja tuotteita.
- Tvl:n resursseja voitaisiin käyttää täysmittaisesti hyväksi ja ongelmia voitaisiin ennakoida ajoissa.
- Ehdotus tukee julkisen hallinnon nykyisiä pyrkimyksiä hajauttaa ja delegoida päätösvaltaa henkilöstöä ja asiantuntijoita hyväksikäyttäen.
- Ehdotus loisi henkilökohtaisia karriäärimahdollisuuksia enemmän kuin mikään muu vaihtoehto.
- Ehdotettu organisaatio olisi joustava. Se olisi samanaikaisesti tarpeeksi pieni ja suuri Suomen kokoiseen maahan.

Mikä tahansa organisaatiomalli Tvl:lle valitaankin, artikkelissa esitetyn tutkimuksen tulokset osoittavat, että nykyinen linjaorganisaatio ei ole tehokkain mahdollinen ja että sen piirihallintojen lukumäärä on liian suuri.

Kirjallisuus

- Allen, G. D. (1938): Mathematical Analysis for Economists. Second Edition, MacMillan, London.*
- Baumol, W. J. (1977): »On the Proper Cost Tests for Natural Monopoly in a multiproduct Industry», American Economic Review 67, 809—822.*

- Baumol, W. J., Panzar, J. C. ja R. D. Willig, (1982): *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*. Harcourt Brace Jovanovich Inc., New York.
- Berndt, E. R. ja L. R. Christensen (1974): »Testing for the Existence of a Consistent Aggregate Index for Labour Inputs«, *American Economic Review* 64, 391—404.
- Christensen, L. R., Jorgenson, D. W. ja L. J. Lau (1973): »Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Function«, *Econometrica* 39, 255—256.
- Denny, M. ja M. Fuss (1977): »The Use of Approximation Analysis to Test for Separability and the Existence of Consistent Aggregates«, *American Economic Review* 67, 404—418.
- Harmatuch, D. J. (1981): »A Motor Carrier Joint Cost Function; a Flexible Functional Form with Activity Prices«, *Journal of Transport Economics and Policy*, May, 134—153.
- Keeler, T. E. (1973): »Railroad Costs, Returns to Scale and Excess Capacity«, *Review of Economics and Statistics*, 208—210.
- Keeler, T. E. ja K. Small (1977): »Optimal Peak Load Pricing, Investment, and Service Levels in Urban Expressways«, *Journal of Political Economy*, Vol. 85.
- Meyer, J., Kain, J. ja M. Wohl (1965): *The Urban Transportation Problem*, Harvard University Press, Cambridge.
- Projektikonsultit (1986) *Hankkeen optimiajoitus ja toteutus*. TVH, Helsinki.
- Sikow, C. (1988): *Translog-kustannusfunktion es-timoiminen tienrakentamisesta*. Kansantaloustieteen pro-gradu sivututkielma. Helsinki.
- Spady, R. H. ja A. F. Friedlaender (1978): »Hedonic Cost Functions for the Regulated Trucking Industry«, *The Bell Journal of Economics*, 159—179.
- Talvitie, A. P. ja C. Sikow (1989): *Econometric Analysis of Highway Construction Technology*, Esitelmä Fifth World Conference on Transport Research konferenssissa, Yokohama, Japan.
- Talvitie, A. P. ja J. Martikainen (1989): *Analysis of Productivity in Highway Construction*, Esitelmä Fifth World Conference on Transport Research konferenssissa, Yokohama, Japan.
- Tauchen, H., Fravel, F. D. ja G. Gilbert (1983): »Cost Structure of the Intercity Bus Industry« *Journal of Transport Economics and Policy*, January, 25—46.
- Tie- ja vesirakennushallitus (1988): *Rakennustoi-minnan nykytilakuvaus*, Helsinki.
- Walters, A. (1963): »Production and Cost Functions: an Econometric Survey«, *Econometrica* vol. 31, 1—52.
- Wang Chiang, S. J. ja A. F. Friedlaender (1982): »Output Aggregation, Network Effects, and the Measurement of Trucking Technology«, *The Review of Economics and Statistics*, 66, 267—276.
- Wang Chiang, S. J. ja A. F. Friedlaender (1985): »Truck Technology and Efficient Market Structure«, *The Review of Economics and Statistics* 67, 250—258.