



# En modell för produktivetsanalys av väginvesteringar

Jan-Eric Nilsson



## Förord

Denna promemoria utgör resultatet av en förstudie vars syfte varit att utveckla ett förfarande för mätning av produktivitet i byggande av nya vägar. Jag är mycket tacksam för återkommande diskussioner under arbetets gång med mina kontaktpersoner på Trafikverket, Jan Håkansson och Anna Ward, och för den mycket handfasta hjälp jag fått från Thomas Brandtberg med att samla in mängdförteckningar med mera. Som vanligt står jag själv för slutsatser och eventuella återstående felaktigheter.

Stockholm i maj 2014

*Jan-Eric Nilsson*

## Kvalitetsgranskning

Extern peer review har genomförts i mars 2014 av beställarna av uppdraget, Jan Håkansson och Anna Ward, Trafikverket. Författaren har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus den 27 mars 2014. Roger Pyddoke har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 26 maj 2014. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

## Quality review

Internal/external peer review was performed in March 2014 by the contact persons at Trafikverket, Jan Håkansson and Anna Ward. The author has made alterations to the final manuscript of the report 27 March 2014. Research director Roger Pyddoke has examined and approved the report for publication on 26 May 2014. The conclusions and recommendations expressed are the author's and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	5
Summary .....	7
1 Inledning .....	9
2 Principproblem i samband med datainsamling .....	11
3 Beskrivning av underlagsmaterialet .....	13
4 Modellen .....	15
4.1 Output .....	16
4.2 Input .....	16
4.3 Skillnader i förutsättningar .....	18
4.4 Slutsatser .....	19
5 Exempel på tillämpningen .....	20
5.1 Resultat i ett tillämpningsexempel .....	20
5.2 Fortsatt arbete .....	22
Referenser .....	23
Bilaga	



## En modell för produktivetsanalys av väginvesteringar

av Jan-Eric Nilsson  
VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut  
581 95 Linköping

### Sammanfattning

Syftet med denna förstudie har varit att ta fram ett förslag till hur man på disaggregerad nivå, det vill säga med upphandlade kontrakt som minsta observation, kan analysera produktivetsutvecklingen. På så sätt skulle det vara möjligt att jämföra olika projekt med varandra för att bedöma om det finns möjligheter att säga att ett projekt är bättre än ett annat. Det skulle också vara möjligt att följa produktivetsutvecklingen över tid, samt – kanske mest betydelsefullt – att identifiera vilka förhållanden som påverkar utvecklingen i positiv eller negativ riktning.

För att ge underlag för förstudien har Trafikverket tillhandahållit mängdförteckningar (MF) som specificerar vilka arbetsuppgifter som ska genomföras i de kontrakt som reglerar 124 utförandeentreprenader. Eftersom informationen inte funnits i elektroniskt läsbar form har ett manuellt arbete genomförts för att överföra samtliga MF till ett format som kan analyseras djupare. Under detta arbete har det visat sig att det finns betydande skillnader mellan olika projektledare i hur projekten beskrivs. Samtidigt som projektledaren bör ges stor frihet att anpassa projektutformningen till den situation som föreligger på byggplatsen är det angeläget att den information som lämnas om projekten är i en form som gör det möjligt att jämföra olika åtgärder med varandra.

Av den totala mängden kontrakt har endast ett 60-tal kunnat användas för att i ett enkelt exempel visa hur man med stokastisk frontanalys (SFA) kan genomföra produktivetsjämförelser. Begränsningen beror på att projekten resulterar i olika produkter. Analysarbetet har därför genomförts enbart för projekt som resulterar i broar, vägar och/eller gång- och cykelvägar.

SFA är ett förfarande som använts i en stor mängd ekonomiska tillämpningar i olika delar av samhället och som har många principiellt tilltalande egenskaper. Metoden har emellertid aldrig tidigare prövats i just denna tillämpning. En anledning kan vara att investeringsprojekt är sinsemellan mycket olika, något som gör det svårt att genomföra rättvisande jämförelser.

De projekt som upphandlas som utförandeentreprenader har emellertid en egenskap som i detta avseende är mycket intressant: Varje sådant projekt baseras på en mängdförteckning som i detalj specificerar hur entreprenaden ska genomföras. Tack vare denna fullständiga kontroll över den input som används blir det möjligt att jämföra olika projekt med varandra.

De 60 projekt som analyserats visar hur kostnaden för en investering påverkas av hur många kvadratmeter beläggning som läggs ut när man bygger en ny väg eller en gc-väg. Resultaten innehåller också information om hur anläggningskostnaderna påverkas av att öka mängden inputs av olika typ. I exemplet har input hanterats i termer av de huvudkategorier som genomförs under ett byggprojekt i form av förberedelsearbete (AMAKategori B), terrassering, markförstärkning etc. (kategori C) och byggande av den nya anläggningen (kategori D). De projekt som studeras har i genomsnitt en låg

produktivitet. Det skulle i själva verket vara möjligt att halvera byggkostnaderna om de erfarenheter som vunnits i de bästa projekten togs till vara.

Av flera skäl är det inte möjligt att av detta dra slutsatser om ”verkligheten”, det vill säga om resultaten är tillförlitliga. Ett skäl är det låga antalet observationer, ett annat att det mått på output – kvadratmeter beläggning – som används, inte har tolkats av en kunnig vägingenjör. Däremot illustrerar exemplet vilken typ av slutsatser som kan dras från studier av denna art. Det finns också goda förutsättningar att med mera information om de olika kontrakten, exempelvis med avseende på hur stor andel av kontraktskostnaden som utgörs av fast respektive rörlig ersättning, identifiera ytterligare egenskaper hos avtalen mellan beställare och utförare som påverkar kostnadsutfallet.

Uppsatsen avslutas med en kort genomgång av vilka arbetsinsatser som behövs för att tillämpa modellen i framtiden. Ett första steg är därvid att skapa tillgång till ett större antal observationer. Likaså krävs att personal vid Trafikverket med stöd av varje MF identifierar vilka prestationer som varje projekt levererar och också i vilken utsträckning som projekt genomförs under extremt dåliga omgivningsförutsättningar.

Avsikten med en huvudstudie är att bedöma vilken typ av information som behövs för att kunna jämföra produktiviteten hos de utförandeentreprenader som studeras. Den slutliga bedömningen av lämpligheten med att använda SFA för att mäta produktivitet bör baseras på en diskussion om ifall de slutsatser som dras i någon bemärkelse kan anses vara rimliga.

Om det visar sig möjligt att använda SFA på detta sätt, utgör ett indirekt resultat av sådana tillämpningar att man identifierar vilken information om kostnadsdrivare som är särskilt intressanta att studera. I nästa steg är det möjligt att använda en sådan fördjupad förståelse av sambanden för att jämföra utförandeentreprenaden med andra avtalsformer, framför allt med totalentreprenaden.



## **A model for productivity analysis of road investment projects**

Jan-Eric Nilsson

by The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)

SE-581 95 Linköping

### **Summary**

The construction industry's productivity performance, measured on an aggregate level, is dismal compared to other industries. While the industry's aggregate performance is poor, hypotheses regarding possible explanations have been suggested but no definitive reasons have been established. The reason is that disaggregate data facilitating a deeper analysis of the development has been available.

A huge share of the construction industry consists of infrastructure construction and maintenance. All infrastructure activities of this nature is competitively tendered. This provides the basis for the present recommendation for – first – how to measure productivity, or equivalently cost efficiency, and – secondly – to provide scope for analyzing any (positive, or more probably negative) performance trend. To be specific, the idea is to use the tendered contracts or possibly the documented outcome of each contract, or even both, to develop our understanding of the development of productivity. Within the scope of this proposal, focus is on Design-Bid-Build (DBB) contracts (*utförandeentreprenader*). The results of a main study can then be used, in order to establish a generic approach, which could be applied for understanding the performance also of other types of contracts.

One particular aspect of DBB contracts is that the construction assignment is based on a detailed Bill of Quantities (BoQ). This document describes in great detail precisely which activities an entrepreneur is supposed to implement and also the quantity of each. Having implemented the BoQ results in a piece of infrastructure without the contract necessarily has described the nature of the road or railway to be built.

The recommended method for measuring productivity development is to use Stochastic Frontier Analysis (SFA). This approach has been developed over a long period of time and applied in a number of different sectors of the economy. It has, however, never been tested on infrastructure investments. The recommendation is therefore to test SFA on a number of similar road investment projects and to use the BoQ's and associated bid prices for measuring performance both on a cross section sample of projects and subsequently also over time.



## 1 Inledning

Staten satsar varje år stora belopp på trafikinfrastrukturen. Av budgetlagen följer krav på god hushållning med statliga resurser. I propositioner och betänkanden har regeringen och riksdagen påpekat behovet av produktivitets- och kvalitetsmätningar i den statliga förvaltningen. I den utredning som låg till grund för inrättande av Trafikverket angavs att produktivitetens utvecklingen inom anläggningsbranschen varit låg under många år. Detta påverkar de offentliga utgifterna samtidigt som staten som beställare kan bidra till att produktiviteten inom anläggningsbranschen förbättras.

Riksrevisionen har granskat trafikverkens beräkningar och redovisning av produktivitet 1991–2009. Även regeringens roll har därvid granskats. Syftet har varit att bedöma om de tidigare trafikverken, Vägverket och Banverket, mätt och redovisat sin produktivitet i enlighet med rimliga krav och förväntningar. Även regeringens rapportering till riksdagen och krav gentemot trafikverken har granskats. Riksrevisionens övergripande slutsats är att regeringen och trafikverken inte har tillgodosett rimliga krav på mätning och redovisning av produktivitet; se vidare Riksrevisionen (2011).

Efter Riksrevisionens granskning har ett omfattande arbete genomförts vid Trafikverket för att förändra förutsättningarna för uppföljning i allmänhet och för produktivitetmätning i synnerhet. VTI arbetar också med utvecklingen av en generell metod för uppföljning av drift och underhåll av både järnvägar och vägar.

Underhållsätgärder avser delar av ett nät som i väsentliga delar är konstant över tiden. Detta ger förhållandevis goda möjligheter att mäta prestationer och produktivitet där varje del av nätet jämförs dels med ”sig själv” under tidigare perioder, dels med andra delar under samma period. Till skillnad från underhåll är varje investeringsprojekt unikt. Om inte annat kan två nya vägar som är lika breda etc. skilja sig åt med avseende på hur lång sträcka som ska byggas. Det finns därutöver också ett stort antal andra förhållanden som innebär att det ena investeringsprojektet inte är det andra likt. Detta försvårar varje jämförelse av projekt och möjligheten att bedöma om ett projekt genomförts på ett mer kostnadseffektivt sätt än ett annat.

Mot denna bakgrund är syftet med denna promemoria att redovisa möjligheterna att med stöd av mängdförteckningar för ett antal väginvesteringar utveckla en generell metod för produktivitetjämförelser av investeringsprojekt. För ändamålet har VTI fått tillgång till information om ett antal upphandlade investeringar, framför allt i form av de mängdförteckningar som ingår i det avtal som tecknas. Informationen om somliga av de projekt som upphandlats har av olika skäl inte kunnat användas. Andra upphandlade projekt består i praktiken av flera delprojekt, och dessa har i sammanställningen hanteras som av varandra oberoende observationer.

Eftersom analysen avser fokuserar på mängdförteckningar, och eftersom sådana dokument framför allt utnyttjas i samband med upphandling av så kallade utförande-entreprenader, kommer de observationer som görs att enbart avse denna avtalstyp. Avsikten är emellertid att på grundval av de slutsatser som dras om möjligheterna att jämföra utförandeentreprenader med varandra identifiera vilken information som behövs för att också kunna jämföra detta traditionella upphandlingsförfarande med andra avtalsformer. Denna del av arbetet ingår emellertid inte i denna rapport.

Fortsättningsvis beskrivs i avsnitt 2 några generella problem som identifierats i samband med arbetet med att bygga upp en databas bestående av information om de projekt som tillhandahållits. Avsnitt 3 redovisar i korthet innehållet i den databas som skapats medan avsnitt 4 presenterar den modell som utvecklats. Avsnitt 5 redovisar resultaten av en

första skattning av modellen baserat på tillgängliga data. En bilaga ger kompletterande information om de regressionskattningar som behandlas i avsnitt 5.

## 2 Principproblem i samband med datainsamling

Projektet baseras på de mängdförteckningar som ställts till vårt förfogande. Varje upphandling av en utförandeentreprenad med åtföljande mängdförteckning utformas av den ansvarige projektledaren på det sätt som är mest lämpat för att få in konkurrerande anbud och för att hålla nere kostnaderna för att genomföra projekt med acceptabel kvalitet. Varje förfrågningsunderlag och efterföljande avtal utformas därmed på ett sådant sätt att det blir maximalt möjligt att hantera betydelsefulla förutsättningar för respektive uppdrag.

Denna form av decentraliserat genomförande av projekt påverkar möjligheterna att jämföra olika projekt med varandra. Uppföljningar förutsätter således en viss grad av enhetlighet i underlagsmaterialet. Det är därför framdeles angeläget att hanteringen av det material som ligger till grund för upphandlingarna görs på ett sätt som väger av två aspekter mot varandra; å ena sidan är det angeläget att inte begränsa projektledarens möjligheter att anpassa en upphandling till de förutsättningar som föreligger på byggsplatsen; å andra sidan måste det vara möjligt att med ett minimum av ytterligare bearbetning jämföra olika projekt med varandra. Fortsättningsvis identifieras därför problem som kan hanteras genom en enhetlig presentation av mängdförteckningar (MF) utan att för den sakens skull förhindra den situationsanpassning som bör ske av genomförandet av själva projektet.

En återkommande svårighet under arbetets gång är ett antal upphandlingar som består av flera ingående delar. Ett vägbygge kan i samma upphandling innehålla en MF för en gång- och cykelväg eller en eller flera broar medan dessa komponenter andra gånger hanteras i separata upphandlingar. Oavsett hur detta problem hanteras är det angeläget att på ett eller annat sätt specificera de huvuddelar som ingår i en upphandling, dvs. att identifiera ”resultatet” av ett projekt.

En närliggande företeelse avser den mera precisa hanteringen av broar och andra konstbyggnader i upphandlingarna. I somliga förfrågningsunderlag ingår konstbyggnaderna i de övergripande kategorier som har beteckningen<sup>1</sup> ”BV:” där det ligger detaljerade mängdbeskrivningar angivna. Andra gånger finns en enda rad med en fast kostnad för konstbyggnaden under ”BV:”. Åter andra gånger döljs konstbyggnaderna i delkategorier under C och D. Också på denna punkt är det angeläget att fastställa ett förfarande som är enhetligt i presentationen av de prestationer som genomförs. Det har dessutom ett särskilt intresse att följa upp projekt där bron etc. upphandlas med ett fast pris respektive baserat på en detaljerad mängdförteckning.

En delvis annorlunda problematik uppstår då till synes likartade upphandlingar i realiteten avser åtgärder som varierar betydligt i omfattning och utformning. Det mest betydelsefulla exemplet är sannolikt beläggningsåtgärder som typiskt sett avser en ny ytbeläggning, målning av markeringar och de andra åtgärder som krävs att vägen får den nya helhetsstandarden. Det finns emellertid också upphandlingar som enbart avser beläggningsåtgärder medan åter andra beläggningsprojekt även omfattar kompletterande åtgärder i form av vissa underarbeten, förbättringar av dränage etc. utan att detta klart framgår av förfrågningsunderlaget. Även andra typer av reinvesteringar förknippas med detta problem som ger upphov till en risk för att man inte jämför lika med lika.

Slutligen framgår av tillgängligt underlag att de som är ansvariga för projekt har olika syn på hanteringen av beläggningsåtgärder och andra arbeten som kompletterar

---

<sup>1</sup> Beteckningar och kategorier beskrivs närmare i avsnitt 3.

huvuduppdraget, typiskt sett en ny väg. I somliga upphandlingar ligger belyningsåtgärderna som en integrerad del av den MF som avser ”huvudprojektet”, i andra i separata MF och i åter andra fall ingår inte belyningsåtgärder som en del av projektet. Också detta är ett exempel där man behöver klargöra vad, mera precist, som produceras av projektet.

För framtiden är det uppenbarligen nödvändigt att använda gemensamma normer för beskrivningen av de prestationer som kontraktet resulterar i. I frånvaro av enhetlighet är det inte möjligt att utveckla mått på verksamhetens kostnadseffektivitet.

### 3 Beskrivning av underlagsmaterialet

AMA står för Allmän Material- och Arbetsbeskrivning och innehåller en förteckning över samtliga aktiviteter som, baserat på beprövade tekniska lösningar, resulterar i konstruktioner inom olika tekniska delområden. Beskrivningarna används för att specificera ett uppdrag och utgör därmed också ett underlag för kommunikation mellan parterna genom hela byggprocessen. AMA omfattar över 15 000 koder och rubriker med tillhörande föreskrifter och råd.

AMA är uppdelad i ett antal olika fackområden: Administrativa föreskrifter, Anläggning, Hus, VVS, El och Kyl. För analyserna i detta projekt används AMA Anläggning.

Sammantaget har 124 mängdförteckningar som var och en innehåller ett mindre eller större antal delaktiviteter dokumenterade som AMA-koder registrerats i ett Exceldokument. Projekten representerar vägar med olika bredd, broupphandlingar, gång- och cykelvägar, m.m.

Genomsnittprojektet kostar nästan 15 miljoner kronor; det minsta projektet kostar 183 000 och det största 378 miljoner kronor. Tabell 1 visar hur kostnaderna i genomsnitt fördelas på de huvudkategorier som används i AMA Anläggning. Kategori B, dvs. olika former av förarbeten, står för 8 procent av kostnadsmassan. Kategori C, som står för 20 procent av kostnaderna, är det förberedelsearbete som görs i projekten och kategori D utgör de aktiviteter som leder fram till att man bygger den nya vägkroppen och står för 44 procent av kostnaderna. Konstbyggnader i form av tunnlar, broar, stödkonstruktioner etc. representerar 21 procent av kostnadsmassan. Sammanlagt representerar kategorierna B, C och D samt konstbyggnader över 90 procent av kostnaderna i de 124 projekten.

Tabell 1 Övergripande kostnadsfördelning

	Medel- värde, mkr	Andel av medel- kostnad, procent
B Förarbeten, hjälparbeten, saneringsarbeten, flyttning, demontering, rivning, röjning m.m	1,19	8
C Terrassering, pålning, markförstärkning, lager i mark m.m	3,04	20
D Marköverbyggnader, anläggningskomplett, m.m	6,51	44
E Platsgjutna konstruktioner	0,22	1
F Murverk	0,02	0
G Konstruktioner av monteringsfärdiga element	0,04	0
J Skikt av byggpapp, tätskiktsmatta, etc.	0,01	0
P Apparater, ledningar m.m i rörsystem	0,55	4
S	0,17	1
Y Märkning, kontroll, dokumentation m.m	0,03	0
Konstbyggnader	3,08	21
Samtliga	14,86	

De mängdföreteckningar som här används avser det arbete som planeras. I realiteten uppstår större eller mindre avvikelser från de ursprungliga lösningarna när ett projekt genomförs. Detta kan bestå både av att mängderna blir annorlunda än planerat och/eller att den ursprungliga beställningen ändras eller att det görs tilläggsbeställningar.

En sådan distinktion har emellertid ingen betydelse för den principfråga som behandlas, dvs. om det är möjligt att utveckla en modell för produktivitetjämförelser av investeringsprojekt. Skälet är att man lika väl kan använda den slutliga förbrukning som ett projekt resulterar i. Detta är också möjligt att åstadkomma genom att ålägga projektledarna att spara den dokumentation i detta avseende, som byggs upp under genomförandet av ett projekt. Det är emellertid för närvarande svårt att få tillgång till information om denna faktiska förbrukning, och principmodellen beskrivs därför med stöd av de mängdföreteckningar som ingår i förfrågningsunderlaget och som utgör en del av det avtal som tecknas.

Det kan också finnas anledning att notera att den information som redovisas om kostnad/pris per enhet utgör ett mycket komplext mått på faktisk resursförbrukning. En aspekt är att priset ofta i sig är uppbyggt av många underliggande komponenter. Kostnaden för beläggning avser således både materialkostnad (sten och bitumen), resursåtgången för att koka samman komponenterna i ett asfaltkokeri, kostnaden för den förare med lastbil som kör massan från kokeri till den plats där den ska läggas ut liksom kostnaden för den utrustning och personal som behövs för att lägga ut asfalten. En annan aspekt som budgivarna kan lägga in i sin prisangivelse avser hantering av risk och osäkerhet, av spekulationer kring om beställaren (eller dennes konsult) verkligen gjort korrekta mängdbedömningar, betydelsen av tidpunkten för genomförande av ett enskilt projekt i förhållande till företagets beläggning, etc.

Detta har emellertid ingen betydelse för analysen. Alla uppföljningar måste göras mot bakgrund av de anbud som inkommit, oavsett hur väl dessa anbud (eller enhetspriser) avspeglar faktisk resursförbrukning. Syftet med de mätningar som ska göras är således att bedöma kostnadseffektiviteten i den av beställaren fastställda verksamheten, inte om de olika anbudsgivarna agerar på ett sätt som innebär att deras resurser används på bästa tänkbara sätt. Det kan också noteras att förutsättningarna för att anbudsgivare ska kunna avvika allt för mycket från en resursförbrukning som (ur deras perspektiv) är effektiv, minskar ju fler anbud som lämnas.



## 4 Modellen

Huvudsyftet med denna rapport är att föreslå ett förfarande för att mäta produktivitet i genomförandet av investeringsprojekt. Efter en betydande litteraturgenomgång har detta lett fram till förslaget att pröva en modell som utvecklats kallas *Stochastic Frontier Analysis* (stokastisk frontanalys, SFA). SFA kan mycket förenklat beskrivas med stöd av dess ”kusin”, *Data Envelopment Analysis* (DEA).

Anta att det finns tre olika produktionsanläggningar som tillverkar 10 000 enheter av en produkt per år. Anläggning A använder 5 anställda och 2 maskiner, anläggning B 2 anställda och 5 maskiner medan anläggning C använder 5 anställda och 5 maskiner.

Det är inte möjligt att på grundval av dessa uppgifter säga något om effektiviteten i produktionsanläggning A jämfört med B. Skälet är att man i anläggning A använder mer av en input och mindre av en annan, medan anläggning B har omvänd relation mellan inputanvändningen.

Anläggning C är emellertid uppenbart sämre än de båda andra. Anledningen är att anläggning C kan minska antalet anställda och använda den metod anläggning B använder *eller* välja att ligga kvar med 5 anställda och i stället tillämpa anläggning A:s förfarande. Oavsett vilket alternativ som väljs skulle resursanvändningen för att producera 10 000 enheter i anläggning C minska. Anläggningen är därför mindre produktiv i utgångsläget än de övriga anläggningar man jämförs med.

Med detta enkla exempel är det också uppenbart att produktivitet inte är ett absolut mått utan tolkas i jämförelsen mellan projekt: Ett projekt är mer kostnadseffektivt än ett annat om man inte använder lika mycket resurser för att åstadkomma samma resultat, eller om man med samma resurser åstadkommer mer.

En stor forskningslitteratur som behandlar metodfrågor har utvecklats kring denna metodansats och kring SFA, som kompletterar det enkla exemplet ovan med att jämföra flera projekt genom att använda traditionell statistisk analys. Både DEA och SFA har också tillämpats i praktiken i en mängd projekt, bland annat flera studier som genomförts av Riksrevisionen.

Strukturen på dessa analyser innebär att man utgår från *vad* som produceras och registrerar *hur stor* resursåtgång detta kräver. Det finns också möjlighet att hantera eventuella skillnader mellan projekt/produktionsanläggningar med avseende på *omgivningsförutsättningar*. Med tillräckligt många observationer av produktionsanläggningar eller (i denna studie) projekt, är det möjligt att identifiera den eller de som är uppenbart sämre än de andra på det sätt som illustrerades av det stiliserade exemplet.

För en jämförelse av olika investeringsprojekt tänker vi oss närmare bestämt följande modell:

$$Kostnad_i = f(output^j; input^k; förutsättning^l; \varepsilon, \mu)$$

I den databas som byggts upp finns information om produktionskostnaden för  $i=124$  olika projekt. Varje projekt resulterar i  $j$  stycken output av olika art; dessa beskrivs i avsnitt 4.1 nedan. För ändamålet – för att bygga vägen – används  $k$  stycken olika inputs som beskrivs i avsnitt 4.2, och projekten genomförs under  $l$  stycken olika förutsättningar (avsnitt 4.3).  $\varepsilon$  och  $\mu$  är de residualer som används för att beskriva förekomsten av slumpmässighet i materialet respektive de observationer av ineffektivitet som kan göras. Den formella hanteringen av dessa termer beskrivs inte ytterligare i denna promemoria.

## 4.1 Output

Det yttersta syftet med ett vägprojekt är att lösa ett problem. Utefter delar av vägnätet finns bullerproblem som kan hanteras med hjälp av bullerskärmar och/eller isolering av fönster. I tätortsområden kan det finnas säkerhetsproblem som ger anledning till att bygga bullerdämpande åtgärder.

Men huvuddelen av alla investeringsåtgärder innebär att en ny väg byggs eller en existerande väg byggs om för att ge möjlighet till smidig och säker förflyttning. Med ett användarperspektiv representerar den (väg-)yta som tillhandahålls för resor och transporter det mätbara resultatet av en åtgärd. Avsikten är därför att som första approximation av produktionen eller outputen av en investering använda antalet kvadratmeter beläggning.

Ett av projekten i databasen har nummer 57 183. Detta är ett länsvägsprojekt som totalt kostar 21,1 miljoner. AMA-koderna DCC.13 och DCC.14 visar att projektet innebär att 21 000 m<sup>2</sup> beläggning läggs ut vilket därför representerar ett resultat av denna investering. I detta specifika fall ingår också tre broar till en kostnad av 3,2, 2,7 respektive 1,8 miljoner kronor. I mängdförteckningen kan finnas information om hur många kvadratmeter vägyta som respektive bro härbärgerar; i det aktuella fallet har detta värde inte kunnat identifieras, men avsikten är att representera också detta som ett projektresultat i form av antal kvadratmeter bro och antal broar. Innebörden är därför att ett projekt kan resultera i en eller flera outputs.

I databasen ingår flera projekt som resulterar i gång- och cykelvägar. Också i dessa fall är avsikten att låta output representeras av antalet kvadratmeter beläggning men att använda en annan kod för dessa kvadratmeter än för representationen av en väg.

Som en del i projekt 57 183 ingår också belysningsåtgärder. Även detta skulle i princip kunna hanteras genom att räkna antalet belysningsstolpar etc. Belysning sätts emellertid upp i första hand i anslutning till bebyggelse. Ett alternativt tillvägagångssätt vore därför att hantera sådana kostnader som en del av förutsättningarna för ett projekt. Detta förfarande hanteras ytterligare i avsnitt 4.3 nedan.

Hanteringen, eller snarast tolkningen av vad som levereras av ett projekt är uppenbarligen inte självklar. Man kan dock inledningsvis konstatera att oavsett vilket underliggande *syfte* ett projekt har så behöver leveransen inte variera. En investering som genomförs för att eliminera ett trafiksäkerhetsproblem, exempelvis genom att bredda och räta ut en sträcka med många olyckor, resulterar således i vägyta på det sätt som beskrevs ovan. Eftersom syftet här är att analysera kostnadseffektiviteten i genomförande av ett projekt, inte med avseende på det underliggande syftet med projektet, så reser detta inte några djupare problem.

## 4.2 Input

Tabell 2 baseras på mängdförteckningen för projekt 57 183 och innehåller en sammanställning av de aktiviteter som krävs för att projektet ska kunna genomföras. Sammanställningen har gjorts på följande sätt:

Huvudkategori B, förarbeten av olika art, innebär att ett stort antal mängdsatta aktiviteter ska genomföras. I kategorin BCB.3 i mängdförteckningen framgår att entreprenören ska genomföra 39, 45, 430 och 233 meter ”Tillfälliga åtgärder för skydd m.m. av ledning” som en del av uppdraget. Dessa delaktiviteter kostar olika mycket per meter; specifikt kostar de två första deluppdragen 520 kronor per meter medan de båda sista kostar 271 kronor per meter. På motsvarande sätt finns ytterligare 11 rader under

huvudkategori B med aktiviteter som mäts i antal meter, var och en till en kostnad som varierar i större eller mindre utsträckning i förhållande till övriga delaktiviteter.

De olika delaktiviteter som genomförs har adderats samman efter det att var och en viktats med kostnadsandelen. Den första delaktiviteten under BCB.3 innebär att 39 meter framställs. Eftersom aktiviteten utgör  $(20\ 280/324\ 638=)$  6,2 procent av den totala kostnaden för alla åtgärder som mäts i meter under kategori B, ges dessa 39 meter vikten 0,062. På motsvarande sätt får den tredje raden av BCB.3, 430 meter, vikten 0,359. Vikten blir mycket högre eftersom denna del av uppdraget utgör en mycket större andel av kostnaden.

Totalt sett innebär huvudkategori B ett genomförande av 2 697 meter av olika art. Eftersom kostnaden för de olika delaktiviteterna varierar innebär viktningen att det framställs 272 ”artificiella meter” som ett resultat av insatserna under kategori B. Genom att använda motsvarande metodik framställs 2 515 ”artificiella kvadratmeter” och 15 ”artificiella stycken” som en del av kategori B.

Det är uppenbart att precisionen i beskrivningen av hur olika inputs bidrar till att genomföra verksamheten skulle förbättras om kategori B bryts ner i ytterligare delaktiviteter, dvs. BC, BE osv. Detta skulle emellertid skapa ytterligare ett stort antal olika aktiviteter, vilket i sin tur gör det svårt att få signifikanta skattningar i analysen.

Tabell 2 innehåller uppgifter för samtliga delmängder som specificeras i de olika huvudkategorierna för att genomföra projektet; innebörden av respektive kategori framgår av tabell 1. Det finns sammanlagt 16 stycken olika ”artificiella mängder” i tabellen. Därutöver finns 10 stycken fasta ersättningar som inte passar in i det mönster som i övrigt framträder i materialet, liksom de tre broar som beskrevs tidigare och som också förutsätter resursinsatser.

Tabell 2 Konstruktion av ”artificiella mängder” av olika inputs som behövs för att bygga projekt 57183.

Kategori	Typ	Antal		Kategori	Typ	Antal
B	Meter	272		G	Antal	1
	Kvadratmeter	2 515				
	Antal	15		P	Meter	136
	<b>OR</b>	27 022			Antal	7
		193 386				
		3 675		S	Meter	1 352
		180 234			Antal	20
C	Meter	970		U	<b>OR</b>	16 213
	Kvadratmeter	2 937				
	Kubikmeter	17 134		Y	<b>OR</b>	3 675
	Antal	56				3 675
						16 213
D	Meter	342				3 675
	Kvadratmeter	735				3 675
	Kubikmeter	7 955				
	Antal	31				

### 4.3 Skillnader i förutsättningar

Olika projekt kan synas leverera samma slutresultat samtidigt som arbetet genomförs med mycket olika förutsättningar. Anta till exempel att projekt 57 183 i exemplet ovan byggs på mark som är fördelaktig i konstruktionshänseende. Ett annat projekt som också resulterar i 21 000 m<sup>2</sup> beläggning kanske kräver sprängning medan ett tredje förutsätter att den nya vägen passerar en sankmark. En ytlig betraktelse kan därför indikera att det förstnämnda projektet är mer kostnadseffektivt än de båda andra. I själva verket kanske kostnadsskillnaden i första hand kan förklaras av skillnaden i de förutsättningar man arbetar under.

Avsikten är att i det fortsatta arbetet identifiera vilken typ av aktiviteter eller arbetsinsatser med vilka AMA-koder som avviker från vad som kan anses vara ett genomsnittsprojekt vad gäller förutsättningarna för investeringen. Det kan exempelvis handla om m<sup>3</sup> sprängsten som måste hanteras eller antal pålar som behöver slås ner för att stabilisera mark. Eftersom sådana aktiviteter föranleds av skillnader i förutsättningarna för projekt, och därför innebär stora merkostnader i förhållande till ett artificiellt ”genomsnittligt projekt”, är det angeläget att representera detta förhållande med stöd i respektive mängdförteckning. Sannolikt är detta möjligt att göra med stöd av en statistisk analys som identifierar extremvärden.

Beroende på om en investering genomförs i tätort eller på landsbygd kan också förutsättningarna för projektet variera. Likaså kan det, allt annat lika, vara mera fördelaktigt att genomföra investeringar i orörd terräng än att bredda eller på annat sätt bygga om en existerande väg. Också detta utgör väsentliga skillnader i förutsättningarna för en investering som det kan finnas anledning att hantera i analysen. Redan idag finns

noteringar kring denna typ av omständigheter i den databas som håller på att byggas upp.

#### 4.4 Slutsatser

Det tillvägagångssätt för att mäta produktivitet som beskrivits innebär att resultatet av varje projekt identifieras, den input som används beskrivs på ett rimligt kondenserat sätt och dessutom hanteras de systematiska skillnader som kan finnas i förutsättningarna för olika projekt. Med tillgång till information strukturerad på detta sätt blir det möjligt att identifiera projekt som ”sticker ut”, dvs. investeringar som – givet den information som finns – framstår som mindre lyckade än andra. Det kan fortfarande finnas rimliga förklaringar till varför ett projekt framstår som ”dåligt”, men då har man ändå kunnat påbörja en strukturerad analys av produktiviteten.

Huvudslutsatsen av genomgången är därför att det finns mycket information tillgänglig om väginvesteringar och att det finns en metod som har förutsättningar att ge väsentlig information om systematiska skillnader i produktivitet. Det finns emellertid fortfarande ett antal frågor som behöver hanteras innan det är möjligt att påbörja arbetet med att skatta en modell. En viktig utmaning ligger i den obalans som finns mellan antal observationer och antal förklaringsvariabler. Genomgången indikerar således att det kan finnas skäl att inkludera 25 förklaringsvariabler samtidigt som det för närvarande enbart finns 124 MF.

Avsikten är emellertid, oaktat dessa svårigheter, att i nästa avsnitt genomföra en jämförelse av produktiviteten i de 124 projekten. Med detta exempel som stöd är det möjligt att ytterligare närma sig en fungerande modell. Behovet att få många observationer balanseras åtminstone delvis av att många projekt resulterar i färdiga vägar, dvs. en output som är förhållandevis lätt att mäta. Heterogeniteten i projektresultat kan därför vara mindre än vad som syns vara fallet i en yttlig betraktelse.

Lika fullt är tillgången till delvis mångdimensionella projekt som genomförs under delvis skilda förutsättningen, den avgörande utmaningen för det fortsatta arbetet. Det exempel som redovisas i avsnitt 5 kan i bästa fall fördjupa förståelsen av den föreslagna ansatsen men detta ändrar inte grundproblemet. Det finns sist och slutligen inget annat sätt att hantera detta än att pröva sig fram genom att använda ytterligare observationer.

## 5 Exempel på tillämpningen

Medan avsnitt 4 skisserade en modellansats för produktivetsanalys av infrastrukturinvesteringar innehåller avsnitt 5.1 en beskrivning av hur modellen tillämpats. Där ges också några illustrationer av vilken typ av slutsatser som kan dras från resultaten. Avsnitt 5.2 beskriver därefter vilket arbete som behöver göras för att kunna utveckla förfarandet vidare.

### 5.1 Resultat i ett tillämpningsexempel

Trots att tillgängligt material omfattar 124 observationer kan endast 59 av dessa användas. Skälet är att de olika projekten resulterar i mycket disparata ”produkter”. Här används därför endast projekt som innebär att man bygger väg, gång- och cykelväg eller broar.

En skillnad jämfört med principmodellen är också att inputs inte registreras i termer av *kvantiteter* ( $m^2$ ,  $m^3$  etc.). I stället används de sju huvudkategorier (med en andel högre än noll procent av kostnaden) av de *inputaktiviteter* som framgår av tabell 1 ovan. Detta är ett förfarande som funnits vara praktiskt med just detta datamaterial, och det finns inga skäl att förorda det ena eller andra. Däremot finns det anledning att i en bredare analys jämföra lämpligheten av de olika ansatserna. Svaret på frågan kommer sannolikt att ges av vilket förfarande som ger bäst förståelse av de processer som leder fram till ett färdigt projekt.

Inputs i byggprocessen har därför hanterats på följande sätt. Först aggregeras inputs inom var och en av de sju huvudkategorierna, enskilt för varje projekt, genom att med hjälp av priser och kvantiteter skapa prisindex. Projektspecifika prisindex konstrueras för huvudkategori B tillsammans med C, för huvudkategori D och för övriga inputs. För varje sådan kategori skapas således ”priser” för varje kategori eller input. Med andra ord betraktas varje kategori som en input som med ett tillhörande artificiellt pris i form av prisindex. På detta sätt blir det möjligt att skatta en kostnadsfunktion.

Förutom att det begränsade antalet observationer tvingat fram en förändrad modellstruktur finns ytterligare skäl till att det inte är möjligt att i nuläget tolka resultaten så att faktiska slutsatser kan dras om de specifika projekten:

- En *tolkning* har gjorts av vad projekten resulterar i, dvs. antal  $m^2$  väg, gc-väg etc. Denna tolkning har inte stämts av med personal som varit inblandad i arbetet med projekten. I synnerhet är det inte uppenbart om ett projekt som här sägs resulterat i ett antal  $m^2$  väg inte också kan ha inneburit att också annan output färdigställts.
- De tänkbara skillnader i förutsättningar mellan de olika projekten som behandlades i avsnitt 4.3 har inte kunnat identifieras.

Fortsättningsvis förs ett resultatresonemang *som om* resultaten är ”verkliga”. Syftet med detta är enbart att illustrera vilken typ av slutsatser som kan dras med stöd av den typ av resonemang som föreslås för det fortsatta arbetet med produktivetsanalys.

I tabell 3a redovisas de resultat som skattats. Redan de två första värden som beräknats, koefficienterna  $\alpha_1$  och  $\alpha_2$ , påvisar ett problem eftersom minustecknet indikerar att en 10 procentig ökning av mängden  $m^2$  gc-väg respektive vanlig väg skulle *minska* produktionskostnaden med 5 respektive 3 procent. Med stor sannolikhet beror detta konstiga resultat på de problem som noterades ovan.

Om priset på (den kombinerade användningen av) kategori B och C skulle öka med 10 procent skulle kostnaden för ett genomsnittskontrakt öka med fyra gånger så mycket,

dvs. med 40 procent. Däremot ger en ökning av priset på kategori D respektive priset på övriga kategorier inga statistiskt signifikanta effekter på kostnaden. Också dessa resultat kan ifrågasättas.

Om man parallellt skulle öka produktionen av både vanlig väg och gc-väg ( $\alpha_{12}$ ) skulle projektkostnaderna minska något. Andraordningseffekterna ( $\alpha_{11}$  respektive  $\alpha_{22}$ ) är svagt positiva. Dessa koefficienter ger information om den underliggande kostnadsfunktionen och innebär att produktionskostnaderna successivt ökar. Vi avstår att kommentera några andra koefficienter än  $\delta$  vars innebörd är att en ökning av antalet broar, som sig bör, också bidrar till högre kostnader.

Med utgångspunkt från ett av de mest kostnadseffektiva kontrakten visar tabell 3b att det genomsnittliga kontraktet bland våra 59 observationer, med de priser på inputs och outputs som redovisas, skulle ha kunnat genomföras till hälften av den observerade kostnaden. Det tycks således som om ineffektiviteten i exempelprojekten är mycket hög och att det finns mycket att lära av genomförandet av de bästa projekten. Det är i nuvarande skede inte möjligt att peka på vad detta skulle vara utan att gå in i detalj på några projekt för att ge exempel på lärdomar.

Tabell 3a Skattningsresultat, 59 observationer.

Koefficient	Estimat	St.error	Z	P-värde
$\alpha_0$ (konstant)	5.213***	0.330	15.809	0.000
$\alpha_1$ (m <sup>2</sup> gc-väg)	-0.515***	0.097	-5.322	0.000
$\alpha_2$ (m <sup>2</sup> väg)	-0.308***	0.073	-4.226	0.000
$\beta_1$ (index kategori B o C)	4.090***	0.675	6.055	0.000
$\beta_2$ (index kategori D)	-1.200	0.983	-1.222	0.222
$\beta_3$ (index övr. kategorier)	-1.889	NA	NA	NA
$\alpha_{12}$ (interaktion output)	-0.028***	0.003	-10.822	0.000
$\alpha_{11}$	0.159***	0.019	8.289	0.000
$\alpha_{22}$	0.117***	0.012	9.373	0.000
$\beta_{12}$ (interaktion input)	-1.340**	0.691	-1.938	0.053
$\beta_{13}$	2.314*	0.986	2.347	0.019
$\beta_{23}$	-1.316	1.153	-1.141	0.254
$\beta_{11}$	-0.988	0.589	-1.679	0.093
$\beta_{22}$	2.966**	1.094	2.711	0.007
$\beta_{33}$	-1.294	NA	NA	NA
$\gamma_{11}$ (interaktion input o output)	-0.494***	0.129	-3.818	0.000
$\gamma_{12}$	0.313**	0.108	2.907	0.004
$\gamma_{13}$	0.180	NA	NA	NA
$\gamma_{21}$	-0.209**	0.058	-3.605	0.000
$\gamma_{22}$	0.001	0.125	0.008	0.993
$\gamma_{23}$	0.208	NA	NA	NA
$\delta$ (bro)	0.671***	0.213	3.148	0.002
R2	0.745			

\* 95% konfidens (1,96); \*\* 99% konfidens (2,58); \*\*\* 99,8% konfidens (3,09)

Tabell 3b Skattad kontraktsspecifik kostnadseffektivitet.

Min	Q1	Median	Medel	Q3	Max
0.079	0.293	0.515	0.545	0.827	0.998

## 5.2 Fortsatt arbete

Genomgången i denna rapport har argumenterat för att använda stokastisk frontanalys (SFA) för att kunna jämföra kostnadseffektiviteten hos utförandeentreprenader. Detta är en metod som använts inom många olika tillämpningar men som aldrig tidigare prövats för att jämföra investeringsprojekt. Skälet är att investeringsprojekten skiljer sig åt i större omfattning än i många andra tillämpningar av metoden, något som försvårar möjligheten att göra jämförelser. Motivet för att *ändå* förorda en fördjupad analys är att det till grund för varje upphandling av en utförandeentreprenad finns en mängdförteckning som i detalj redogör för vilka aktiviteter som ska utföras för att färdigställa den åtgärd som beställaren efterfrågar. Denna unika information ger underlag för att förorda en fortsatt utveckling av detta förfarande.

Rapporten ska emellertid ses som en förstudie vars resultat är att den idé som formulerats också visat sig fungera i en förenklad tillämpning. För att kunna gå vidare i arbetet med att utveckla metoder som löpande kan användas för att mäta kostnadseffektivitet och hur denna utvecklas krävs emellertid ytterligare ett antal arbetsmoment:

- Information måste samlas in om ett större antal projekt. Informationen ska bestå av mängdförteckningar som sparats i elektronisk form och därmed direkt kan göras läsbara, dvs. så att data kan överföras till det format som behövs för de analyser som ska genomföras. Ju fler typer av resultat/produkter/outputs som ska analyseras, desto fler observationer krävs.
- En person på Trafikverket måste ta ansvar för att med stöd av MF för varje projekt definiera vad som ska anses vara resultatet av projektet.
- En person på Trafikverket måste på motsvarande sätt ta ansvar för att definiera vad som kan anses vara förutsättningar för projektet som skiljer sig från vad som i någon mån kan sägas vara genomsnittliga.



## Referenser

Battese, G.E. and T. Coelli (1988), Prediction of Firm-level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and Panel data. *Journal of Econometrics*, 387-399.

Coelli T. and D.S.P. Rao (2005), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Springer, New York, USA.

Riksrevisionen (2011). Trafikverkens produktivitet – Hur mycket infrastruktur får man för pengarna? RiR 2011:7



## Bilaga<sup>2</sup>

### Aggregering av variabler

Utgångspunkten för de skattningar som gjorts är att identifiera kostnadsdrivare i underlaget till genomförda upphandlingar och att med detta som stöd formulera hypoteser om eventuella ineffektiviteter hos genomförda projekt. Trots att tillgängligt material omfattar 124 observationer kan endast 59 projekt användas. Skälet är att de olika projekten resulterar i mycket disparata ”produkter”. Här används endast projekt som innebär att man bygger väg, gång- och cykelväg eller broar.

Eftersom mängdförteckningarna innehåller ett stort antal observationer av inputs finns fler potentiella förklaringsvariabler än observationer. Detta försvårar en analys med vedertagna ekonometriska metoder för produktivetsanalys. Men också i studier där man har tillgång till ett mycket stort antal observationer brukar inputs aggregeras inom välavgränsade kategorier (Coelli & Rao, 2005). Till exempel är det vanligt att olika typer av arbetskraftsinsatser aggregeras till en enda input för arbetskraft.

### Modellstruktur

För den ekonometriska analysen måste man utveckla en struktur för hantering av inputpriser, outputkvantiteter och total kostnad. Till följd av att tillgängligt antal observationer är begränsat används här ett annorlunda förfarande för att strukturera inputs än i huvudtexten. I stället för att arbeta med kvantiteter ( $m_2$ ,  $m_3$  etc.) på det sätt som beskrevs i avsnitt 4.2 ligger fokus på de sju huvudkategorier av inputaktiviteter i tabell 1 i huvudtexten med en andel högre än noll procent.

Det finns inga skäl att förorda det ena eller andra förfarandet. Däremot finns det anledning att i ett kommande arbete jämföra lämpligheten av de olika ansatserna. Svaret på frågan kommer sannolikt att ges av vilket förfarande som ger bäst förståelse av de processer som leder fram till ett färdigt projekt.

Hantering av inputs går till på följande sätt. Först aggregeras inputs inom varje kategori, enskilt för varje projekt, genom att med hjälp av priser och kvantiteter skapa prisindex för varje kategori.<sup>3</sup> Kategori D behålls intakt som en input och de projektspecifika prisindexen för denna kategori används i den ekonometriska analysen. För de övriga kategorierna skapas ”implicita kvantiteter” genom att total inputvärdet för varje projekt och kategori divideras med prisindexen inom kategorin. Med hjälp av dessa implicita kvantiteter och projektspecifika prisindex aggregeras ytterligare prisindex fram mellan kategorier.

Projektspecifika prisindex konstrueras aggregerat för kategorierna B och C respektive för övriga inputkategorier. Innebörden är att det för varje projekt presenteras tre inputprisindex; för huvudkategori B tillsammans med C, för huvudkategori D och för övriga inputs.

Fishers prisindex används vilket definieras som  $P_i^F = \sqrt{P_i^P P_i^L}$  där  $P_{ij}^P = \frac{\sum_{m=1}^M p_{mi} q_{mi}}{\sum_{m=1}^M p_{mj} q_{mi}}$

---

<sup>2</sup> Denna bilaga baseras på ett underlag från Daniel Wikström, SLU.

<sup>3</sup> Kvantiteter inom kategorierna är  $m$ ,  $m^2$ ,  $m^3$  och st. Jag har även vägt in OR inom varje kategori där kvantitet är 1 och priset summan för OR.

är Paaches prisindex och  $P_{ij}^P = \frac{\sum_{m=1}^M p_{mi}q_{mj}}{\sum_{m=1}^M p_{mj}q_{mj}}$  är Laspeyres prisindex. Sub-index  $i$  står för projekt  $i$  och  $j$  är projektet som är bas för indexen;  $m$  är en av  $M$  inputs.

Tabell 4 innehåller en förteckning över de variabler som används i skattningarna. Notera att kategorin Bro, som egentligen är en output, för närvarande saknar värde. I stället används Bro som kontrollvariabel i regressionsanalysen

Tabell 4: Variabeldefinitioner

Variabel	
	Outputs
$y_1$	kvadratmeter gång och cykelvägar, grusvägar och trafikplatser
$y_2$	kvadratmeter Väg
	Inputs
$p_1$	Prisindex för kategorier B och C
$p_2$	Prisindex för kategori D
$p_3$	Prisindex för övriga kategorier
Bro	Information finns om antalet broar som har byggts.
$C_i$	Total kostnad per projekt

## Modellutformning

För att analysera kostnadseffektivitet hos de olika kontrakten används följande trans-log modell för att skatta kostnadsfronten;  $\alpha$ ,  $\beta$  och  $\gamma$  är de koefficientvärden som ska skattas medan den sammansatta feltermen  $u_i + v_i$  består av slump termen  $v_i$  och kostnadsineffektivitetstermen  $u_i > 0$ .

$$\begin{aligned}
 \ln C_i = \ln c(\mathbf{y}_i, \mathbf{p}_i; \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}) + u_i + v_i = & \alpha_0 \\
 & + \sum_{k=1}^K \alpha_k \ln y_{ki} + \sum_{l=1}^L \beta_l \ln p_{li} \\
 & + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K \alpha_{kj} \ln y_{ki} \ln y_{ji} \\
 & + \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^L \beta_{lr} \ln p_{li} \ln p_{ri} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \gamma_{kl} \ln y_{ki} \ln p_{li} + u_i + v_i
 \end{aligned}$$

Med stöd av ekonomisk teori kan man ansätta ett antal restriktioner på de koefficienter som ska skattas. Restriktioner som härrör från logiska krav på symmetri innebär att  $\alpha_{kj} = \alpha_{jk}$  och att  $\beta_{lr} = \beta_{rl}$ . Modellen kan då skrivas om på följande sätt:

$$\begin{aligned} \ln C_i = & \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \alpha_k \ln y_{ki} + \sum_{l=1}^L \beta_l \ln p_{li} \\ & + \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{j>k}^K \alpha_{kj} \ln y_{ki} \ln y_{ji} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \alpha_{kk} (\ln y_{ki})^2 \\ & + \sum_{l=1}^{L-1} \sum_{r>l}^L \beta_{lr} \ln p_{li} \ln p_{ri} \\ & + \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L \beta_{ll} (\ln p_{li})^2 + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \gamma_{kl} \ln y_{ki} \ln p_{li} + u_i + v_i \end{aligned}$$

Ett krav på att kostfunktionen ska vara homogen av grad ett i inputpriser ger restriktionerna  $\sum_{l=1}^L \beta_l = 1$ ,  $\sum_{r=1}^L \beta_{lr} = 0 \forall l$ ,  $\sum_{l=1}^L \gamma_{kl} = 0 \forall k$ . För att införa homogenitetsvillkoren i modellen så kan villkoren skrivas om. Det första villkoret är ekvivalent med  $\beta_L = 1 - \sum_{l=1}^{L-1} \beta_l$ . För det andra villkoret har vi

$$\sum_{r=1}^L \beta_{lr} = \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^L \beta_{lr} = 2 \sum_{l=1}^{L-1} \sum_{r>l}^L \beta_{lr} + \sum_{l=1}^L \beta_{ll} = 0$$

vilket är ekvivalent med

$$\beta_{LL} = -2 \sum_{l=1}^{L-1} \sum_{r>l}^L \beta_{lr} - \sum_{l=1}^{L-1} \beta_{ll}$$

Det tredje homogenitetsvillkoret kan skrivas som  $\gamma_{kL} = -\sum_{l=1}^{L-1} \gamma_{kl} \forall k$ . Genom att föra in dessa tre homogenitetsrestriktioner erhålls följande modell:

$$\begin{aligned} \ln C_i = & \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \alpha_k \ln y_{ki} + \ln p_{Li} \\ & + \sum_{l=1}^{L-1} \beta_l \ln \frac{p_{li}}{p_{Li}} \\ & + \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{j>k}^K \alpha_{kj} \ln y_{ki} \ln y_{ji} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \alpha_{kk} (\ln y_{ki})^2 \\ & + \sum_{l=1}^{L-1} \sum_{r>l}^L \beta_{lr} [\ln p_{li} \ln p_{ri} - (\ln p_{Li})^2] \\ & + \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{L-1} \beta_{ll} [(\ln p_{li})^2 - (\ln p_{Li})^2] + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L-1} \gamma_{kl} \ln y_{ki} \ln \frac{p_{li}}{p_{Li}} + u_i + v_i. \end{aligned}$$

Denna version av den ursprungliga modellen för kostnadsfront kan skattas genom att flytta över  $\ln p_{Li}$  till den vänstra sidan av modellen. För ändamålet används maximum likelihood skattningar under följande antaganden:

1.  $u_i$  är oberoende och identiskt halvt-normalfördelade,  $N^+(0, \sigma_u^2)$  (half-normal)
2.  $v_i$  är oberoende och identiskt normalfördelade,  $N(0, \sigma_v^2)$
3. Ineffektivitetstermen och Slumptermen är oberoende av varandra samt med priserna och outputkvantiteterna

Med hjälp av maximum likelihood estimaten kan prediktionsskattningar av kostnadseffektivitet  $KE_i$  göras för varje kontrakt (se Battese and Coelli, 1988). Detta innebär att man kan definiera hur långt från ”fronten” – den mest kostnadseffektiva kombinationen av inputs och outputs – ett visst projekt befinner sig.

Kostnadseffektiviteten för projekt  $i$  ( $KE_i$ ) definieras på nedanstående sätt och är ett värde mellan 0 och 1. Ett projekt som ligger på eller nära fronten har ett värde nära ett och ju mindre effektivt projektet är, desto längre från ett är skattningen.

$$KE_i = \frac{c(\mathbf{y}_i, \mathbf{p}_i; \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}) e^{v_i}}{C_i} = e^{-u_i}.$$

Den empiriska modellen utformas för att också kontrollera för antalet broar som har byggts. Den modell som skattas ser därför ut på följande sätt:

$$\begin{aligned} \ln C_i = & \ln c(\mathbf{y}_i, \mathbf{p}_i; \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}) + \delta \ln Bro_i + u_i + v_i = \alpha_0 \\ & + \sum_{k=1}^K \alpha_k \ln y_{ki} + \sum_{l=1}^L \beta_l \ln p_{li} \\ & + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K \alpha_{kj} \ln y_{ki} \ln y_{ji} \\ & + \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^L \beta_{lr} \ln p_{li} \ln p_{ri} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \gamma_{kl} \ln y_{ki} \ln p_{li} + \delta \ln Bro_i + u_i + v_i \end{aligned}$$



VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.



HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE  
LINKÖPING  
POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING  
TEL +46(0)13 20 40 00  
www.vti.se

BORLÄNGE  
POST/MAIL BOX 92  
SE-721 29 BORLÄNGE  
TEL +46(0)243 446 860  
www.vti.se

STOCKHOLM  
POST/MAIL BOX 55685  
SE-102 15 STOCKHOLM  
TEL +46(0)8 555 770 20  
www.vti.se

GÖTEBORG  
POST/MAIL BOX 8072  
SE-402 78 GÖTEBORG  
TEL +46(0)31 750 26 00  
www.vti.se

LUND  
POST/MAIL Medicon Village  
SE-223 81 LUND  
TEL +46(0)46 540 75 00  
www.vti.se