

Optimerade och differentierade vägavgifters intäkter och nytta

Inregia AB 2003-01-30



På uppdrag av SIKA

Bakgrund

Inregia har arbetat med SIKA:s fallstudie Österleden som belyser hur nyttan av en ny trafikled varierar med olika omvärldsförutsättningar. En omvärld innebar ett avgiftssystem baserat på samhällsekonomiska marginalkostnader, SMC för trängsel, olyckor och emissioner. I fallstudien beräknades en differentierad vägavgift DVA utan att avgiftsnivån bestämts på ett optimalt sätt. Orsaken till detta var att det inte fanns en vedertagen metod att beräkna den optimala avgiften då trafikanterna har olika tidsvärden.

Under år 2002 genomförde Inregia och Linköpings Universitet ett forskningsprojekt på uppdrag av Vinnova som resulterade i en stabil och säker metod (Höljemetoden) som kan beräkna optimala avgifter under givna förutsättningar.

Uppdraget

Uppdraget behandlar två vägavgiftssystem: DVA (differentierad vägavgift) och ORP (Optimal Road Pricing). ORP innebär ett optimerat avgiftssystem beräknat med Höljemetoden. Båda system beräknas under samma förutsättningar.

SIKA frågar efter en beräkning av vägavgifterna samt hur totala intäkter från avgiftssystemet fördelas på vissa länkar och på komponenterna trängsel, olyckor och emissioner. Vidare önskas det samhälleekonomiska nettot exklusive kostnaden för införande och drift av systemet.

Förutsättningar

Avgiftssystemen beräknas i scenarios med markanvändning, vägnät och kollektivtrafikering i Stockholms län för år 2015 enligt RUF2001 men med Österleden.

Efterfrågemodellen T/RIM har fyra ärenden med olika tidsvärden: arbetsresor, utbildningsresor, tjänsteresor och övriga personresor. Tidsvärdena estimerades utifrån RVU 1986/87. Vid ruttvalet tillämpas tre olika tidsvärden: klass 1 (arbetsresor och utbildningsresor), klass 2 (tjänsteresor) och klass 3 (övriga personresor). Resenärer som tillhör de olika klasserna väljer rutt enligt en generaliserad kostnad som är summa av den monetära kostnaden och restid multiplicerad med tidsvärdet för respektive klass.

Samhällsekonomiska kostnader för emissioner och olyckor på väglänkar beräknas med hjälp av genomsnittliga kostnader per fordon och km enligt tabellerna 1 och 2. Emissions- och olyckskostnaderna i tabellerna har beräknats med hänsyn till de vägdata som finns i EMME/2. Olyckskostnaderna skattas från en äldre version av Vägverkets program EVA och ligger därmed över de senaste rönen om samhällsekonomiska marginalkostnaden för olyckor.

Tabell 1 Emissionskostnader i kronor 1987

Omland	Emissionskostnader per fordonkm
Länsbygd	0
Tätort	0,08437
Stadskärna	0,33099

Tabell 2 Olyckskostnader i kronor 1987.

Olycks- klass	Definition	Olycksrisk per million fordonkm	Olycksvärde genomsnitt	Olycks- kostnader per fordonkm
1	HH>90 och KK>1	0,25	1070000	0,2675
2	HH=90 och KK>1	0,23	920000	0,2116
3	HH=90 och KK=1	0,42	1540000	0,6468
4	OM=landsbygd och HH=70 och KK=1	0,4	1170000	0,468
5	HH=70 och KK>1	0,23	1540000	0,3542
6	OM=tätort eller stadskärna och HH=70 och KK=1	0,45	1170000	0,5265
7	HH=50 och TU=Huvudnät	1,05	860000	0,903
8	HH=50 och TU=Lokalnät	1,05	700000	0,735
9	Resten	0,4	1000000	0,4

HH= högsta tillåtna hastighet, OM= Omland, KK= Antalet körfält i en riktning, TU= Vägens trafikuppgift. Undantag: Stadsmotorvägar tillhör olycksklass 2; Österleden med på- och avfartsramper tillhör olycksklass 5.

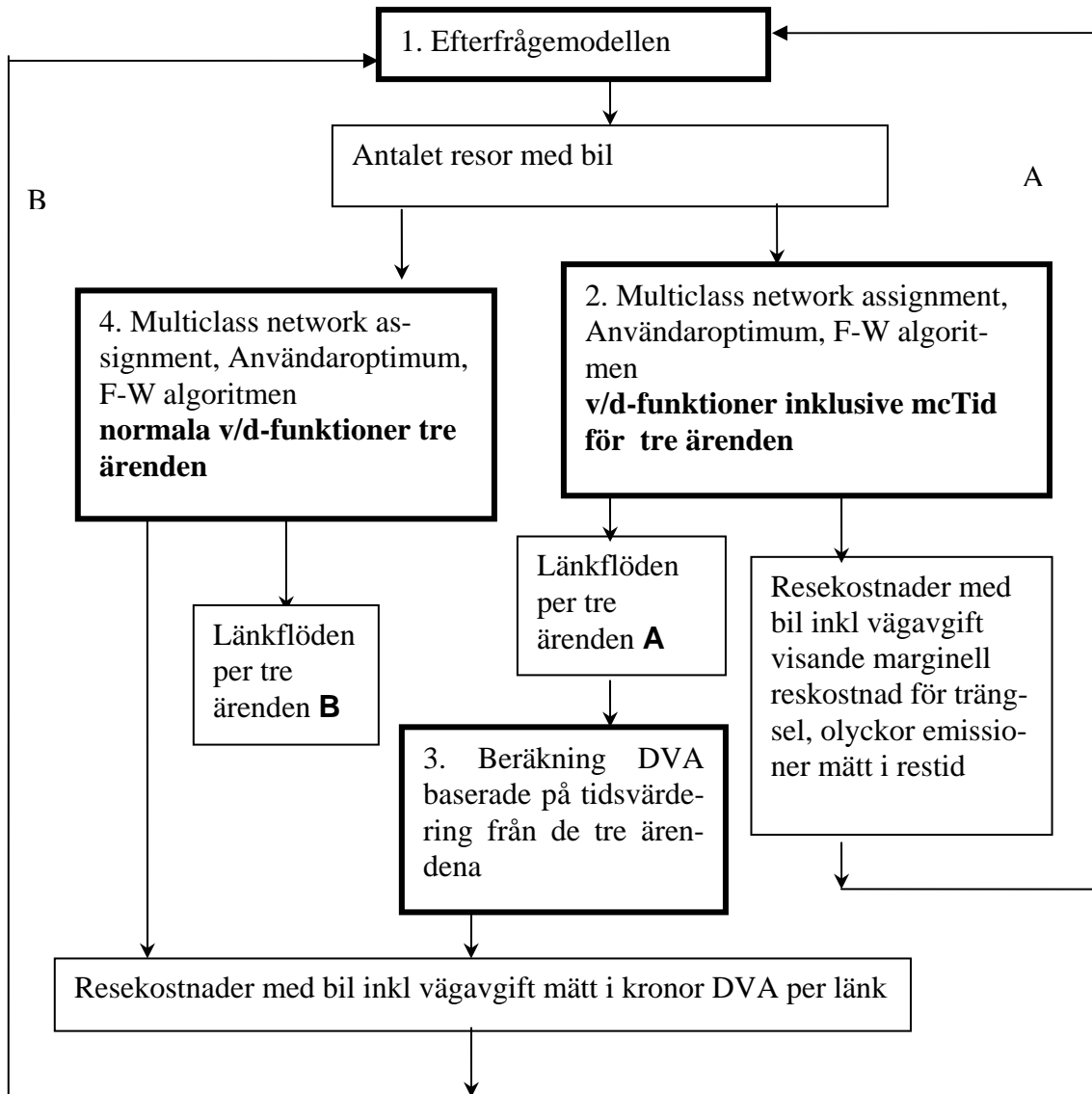
DVA systemet

Inregia försökte 2000-2001 på uppdrag av SIKA beräkna vägavgifter som är lika med samhällsekonomiska marginalkostnaden för trängsel, olyckor och emissioner. Vi misslyckades då p.g.a. att iterationerna mellan bilutläggningen och beräkningen av vägavgifter inte konvergerade. Den metod vi utvecklade och använde i det uppdraget beskrivs nedan som DVA-metoden.

DVA-systemet har vägavgifter motsvarande cirka hälften av de externa kostnader för trängsel, olyckor och emissioner som en extra bil orsakar på en väglänk.

För att vara säkra på att avgiften ligger under de rekommenderade nivåerna för prisrelevanta marginalkostnader används bara halva den härledda kostnaden i analysen.

Figur 1 DVA metodens numrerade steg och loopar



Loop A ((Steg 1, steg 2) ggr 6) ger jämvikt i destinationsval, färdmedelsval och ruttval, men med v/d-funktioner som utöver vanlig restid även adderar halva den marginella kostnaden för trängsel, olyckor och emissioner mätt i restid värderade genom att tillämpa ett aggregerat medelrestidsvärde för de tre ärendena. Halveringen säkrar att avgiften ligger under de rekommenderade nivåerna för prisrelevanta marginalkostnader. Aggregeringen av tidvärdena ger något felaktigt ruttval främst för de 3-4 % av bilresorna med tjänsteärende. Även resefterfrågan påverkas något av felet.

DVA systemet beräknas i steg 3 som bara görs en gång och använder resultatet (länkflöden **A**) från loop A.

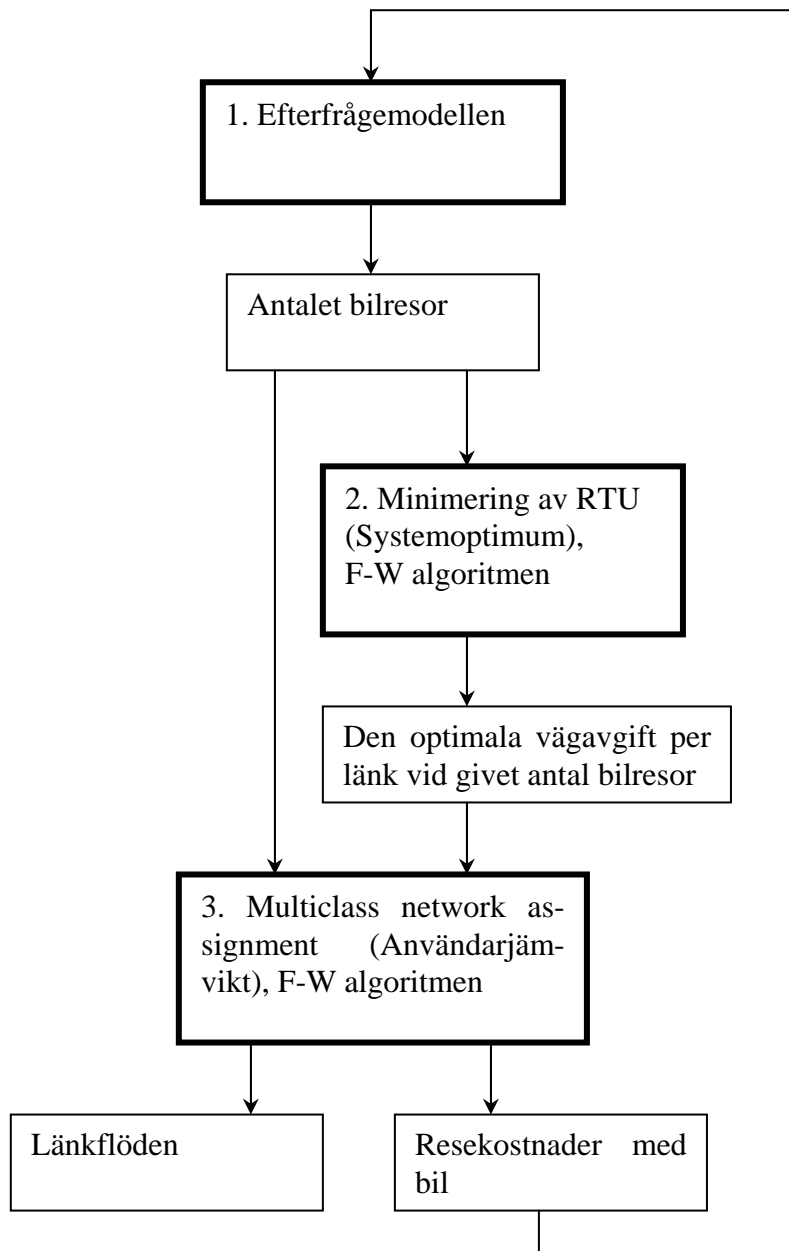
Loop B ((steg 1, steg 4) ggr 6) ger jämvikt i destinationsval, färdmedelsval och ruttval baserat på konstanta vägavgifter från steg 3 som en del av den monetära reskostnaden. Jämförelse mellan totala länkflöden från loop A och loop B har visat god överensstämmelse på nästan alla länkar och skillnad upp till 500 fordon på de känsligaste länkarna.

Det optimerade vägavgiftssystemet

Vägavgifter i ORP-systemet är lika med de externa kostnader för trängsel, olyckor och emissioner som varje bilresa orsakar. De beräknas med Höljemetoden som tagits fram i samarbete mellan Inregia och Linköpings Universitet. Metodutvecklingen har finansierats av VINNOVA.

ORP (Optimal Road Pricing) innebär att avgifterna beräknas så att den totala samhälls-ekonomiska nyttan av avgiftssystemet blir så stor som möjligt.

Figur 2 Beräkningssteg i modellen illustreras i följande schemat.



Höljemetoden innebär implementering av Frank-Wolfe algoritmen för minimering av den totala restidsupoffringen (RTU) i vägsystemet vid ett givet antal resor med bil för varje resärende och mellan varje par av trafikområden. Resärendena skiljer sig med av-

seende på restidsvärde. Trots att RTU inte är konvex med avseende på de ärendespecifika länkflödena, konvergerar alltid algoritmen till en jämvikt och levererar samtidigt en global nedre gräns för RTU på grund av tillämpningen av det konvexa höjlet för RTU. Mera ingående beskrivning av metoden finns i forskningsrapporten.

Genom att metoden implementeras i trafikanalysmodellen T/RIM påverkar vägavgifterna såväl resenärens ruttval som färdmedelsval och destinationsval.

Beräkningen börjar med framtagandet av bilresematriser som motsvarar en situation utan vägavgifter (Steg 1). Vid det givna antalet resor, beräknas de ärendespecifika länkflöden som innebär minsta möjliga RTU och motsvarande externa kostnader (Steg 2). De externa kostnaderna används sedan som fixerade vägavgifter vid utläggning på nätet (Steg 3) som beräknar resekostnader med bil mellan områden. Resekostnaderna används vid nästa iteration (Steg 1) osv.

Vanligen kör man sex iterationer eftersom skillnader i länkflöden mellan konsekventa iterationer stabiliseras vid den sjätte iterationen. Vid beräkningen av ORP-avgifterna blev skillnaderna i länkflöden mellan den sjätte och den femte iterationerna av samma storlek som de brukar göra när T/RIM används för trafikanalyser utan vägavgifter, dvs. som mest ca 200 bilar (regressionslinje $Y=0.54+0.999534X$, $R^2=0,99965$, $STD=10,3$).

Trafikanalysmodellen T/RIM bestämmer först antalet resor per ärende, startområde och målområde i resgenereringssteget. Den högsta möjliga samhällsekonomiska nyttan i trafiksystemet, givet de resmängder som bestämts i resgenereringssteget, uppnås när alla resenärer väljer den destination, det färdmedel och den rutt som minimerar den samhällsekonomiska kostnaden av resan. Vid ORP gör alla bilresenärer val som minimerar den individuella restiden plus individuella kostnader för bränsle, bilvårdeminskning, parkeringsavgifter och vägavgifter som inkluderar samhällsekonomiska kostnader för trängsel, olyckor och emissioner. Nyttan av vägavgiftssystemet kan beräknas som förändring av det totala konsumentöverskottet i trafiksystemet plus summa vägavgiftsintäkter minus samhällsekonomiska kostnader för olyckor och emissioner. Denna nytta maximeras med ORP. Det betyder att ingen vägavgiftssystem kan åstadkomma högre nytta än ORP. Andra åtgärders nytta kan relateras till ORP:s nytta genom så kallade "index of relative welfare improvement" Omega (Verhoef, Nijkamp and Rietveld. Second-best regulation of road transport externalities, Journal of Transport Economics and Policy, 29, 147-167, 1995) definierad som kvot mellan nytta av åtgärden jämfört med referensalternativet och nyttan av ORP jämfört med referensalternativet. För alla avgiftssystem är Omega lika med eller mindre än 1.

Förutom externa kostnader för trängsel, tar metoden även hänsyn till samhällsekonomiska kostnader för emissioner och olyckor. Detta görs genom modifiering av målfunktionen i Steg 2, d.v.s. minimering av summan av RTU och kostnader för emissioner och olyckor. I detta fall består den optimala vägavgiften av summa externa kostnader för trängsel, emissioner och olyckor.

Om andra komponenter utöver konsumentöverskott, avgiftsintäkter, emissioner och olyckor ingår i nyttoberäkningen, blir den inte konsistent med optimeringen. Då kan det finnas ett annat avgiftssystem som ger högre nytta än ORP.

Nyttoeffekter av vägavgifter år 2015

Nyttoeffekterna av vägavgiftssystemet beräknas genom att ett UA med optimerad vägavgift jämförs mot ett JA som inte har vägavgifter men i övrigt har samma förutsättningar som UA.

Effekterna av vägavgiftssystemet redovisas på maxtimmen år 2015. En uppräknig till dygn blir inte rättvisande eftersom T/RIM förutsätter och optimeringen av vägavgifterna antar att fördelningen av resandet under dygnet inte påverkas. Faktiskt är dock trafikens dygnsfördelning beroende på hur avgiftssystemet ser ut under resten av dygnet. Sannolikt kommer trängselavgifterna omfördela bilresor till kollektivresor men också att bilresorna flyttas i tiden så att dess maxtimmeandel av dygnet minskar.

I de två avgiftsalternativen har en särskild avgift införts på varje väglänk i länet. Avgiften är differentierad efter väglänkarnas risk för trängsel, olyckor och emissioner. Alternativen skiljer sig genom avgifternas storlek och fördelning i vägnätet.

I 2001 års prisnivå är den genomsnittliga avgiften med DVA för länet 0,77 kronor per fordonskilometer (fkm) och för Innerstaden 1,53 kronor per fkm. Den genomsnittliga vägavgiften med ORP för länet är 1,70 kronor per fkm och för Innerstaden 3,99 kronor per fkm.

Tabell 3 Fordonskm, vägavgiftsintäkter och vägavgifter per fordonskm DVA och ORP maxtimme år 2015 i prisnivå år 2001.

Differentierad Vägavgift DVA	Innerstaden	övriga länkar	Summa Länet
Summa fordonskm maxt	126 533	2 241 929	2 368 462
Trängselavgiftsintäkter maxt	77 220	572 776	649 996
Olycksavgiftsintäkter maxt	82 069	921 644	1 003 713
Emissionsavgiftsintäkter maxt	34 471	133 309	167 779
Summa avgiftsintäkter maxt DVA	193 760	1 627 729	1 821 489
Avgift / fkm			
Trängselavgift/fkm maxt	0,61	0,26	0,27
Olycksavgift/fkm maxt	0,65	0,41	0,42
Emissionsavgift/fkm maxt	0,27	0,06	0,07
Summa avgift/fkm maxt DVA	1,53	0,73	0,77

Optimized Road Price, ORP	Innerstaden	övriga länkar	Summa Länet
Summa fordonskm maxt	105 515	1 959 194	2 064 709
Trängselavgiftsintäkter maxt	250 957	1 479 301	1 730 257
Olycksavgiftsintäkter maxt	120 678	1 407 243	1 527 921
Emissionsavgiftsintäkter maxt	49 892	199 381	249 273
Summa avgiftsintäkter maxt ORP	421 527	3 085 925	3 507 452
Avgift / fkm			
Trängselavgift/fkm maxt	2,38	0,76	0,84
Olycksavgift/fkm maxt	1,14	0,72	0,74
Emissionsavgift/fkm maxt	0,47	0,10	0,12
Summa avgift/fkm maxt ORP	3,99	1,58	1,70

Totala intäkterna under maxtimmen från ORP avgiftssystem i länet är 1,9 gånger större än intäkterna från DVA. Tittar vi bara på intäkterna från trängselavgifterna i innerstaden är ORP 3,3 gånger större än motsvarande DVA intäkter. Vägintäkterna ökar reskostnaderna för bilresorna och sänker antalet bilresor.

Med minskat antal bilar på vägarna ökar hastigheten och restidsvinster kan göras. Dessa restidsvinster beräknas sammantaget med alla andra resuppofteringar som modellen beaktar när resandet fördelas på destination, färdmedel och resrutter.

T/RIM arbetar med tre färd sätt, (bil, kollektivt, gång/cykel) och dess generaliserade reskostnader består av en sammanvägning av restidskomponenter, monetära reskostnadskomponenter samt bostads- och arbetsplatsanknutna variabler för bilresorna (t ex parkeringskostnader).

Tabell 4 Sammanställning samhällsekonomisk kalkyl maxtimme 2015, prisnivå 2001

Effekter av att införa vägavgiftssystem	UA=DVA	UA=ORP
Effekter för år 2015 i 2001 års penningvärde	Kronor maxtimme	Kronor maxtimme
Förändring KÖ kvarvarande vägtrafikresor	-635 643	-1 721 028
Förändring KÖ förändrade vägtrafikresor	46 368	261 876
Förändring KÖ kvarvarande yrkestrafik	2 545	-79 400
Förändring KÖ förändrad yrkestrafik	902	2 948
Summa Förändring KonsumentÖverskott vägtrafik	-585 827	-1 535 604
Förändring KÖ kvarvarande kollektivtrafikresor	0	0
Förändring KÖ förändrade kollektivtrafikresor	0	0
Summa KÖ kollektivresor	0	0
Trängselavgift maxt	649 996	1 730 257
Olycksavgift maxt	1 003 713	1 527 921
Emissionsavgift maxt	167 779	249 273
Intäkter från bilavgifter	1 821 489	3 507 452
Buller	52 514	110 386
Olyckor	208 659	437 303
Summa luftutsläpp	30 938	71 723
Skatteeffekt på drivmedel (skattefaktor II)	-64 781	-140 697
Skatteeffekt av intäktsförändringar i vägavgifter (skattefaktor II)	546 447	1 051 974
Summa skatteeffekt	481 666	911 277
Total effekt av UA maxtimmen	2 009 438	3 502 797
Effekt exklusive buller och skatteeffekter	1 475 258	2 480 873
Omega (Index of relative welfare improvement)	0,595	

Nettoskillnaden mellan alternativens generaliserade reskostnader visar hur mycket UA ändrar konsumentöverskottet KÖ jämfört med JA. I DVA studien minskar KÖ under maxtimmen med 585 827 kronor och i ORP studien minskar KÖ med 1 535 604 kronor under maxtimmen. I jämviktsläge har färdmedelsval och ruttval anpassats till dessa ändringar i reskostnader. Med DVA minskar bilresarbetet under maxtimmen i länet med

9,6 % och i Innerstaden med 10,5 %. Med ORP minskar bilresarbetet under maxtimmen i länet med 21 % och med 25,1 % i Innerstaden.

Samhällsekonomiskt betraktas vägavgifter dock som transfereringar från konsumenter till producenter och ska inte ingå i kalkylen. Vägavgifterna är en del av de monetära reskostnaderna och behöver alltså adderas i kalkylen för att nettot av vägavgifterna ska bli noll. Med DVA uppgår intäkterna från vägavgifter under maxtimmen till 1,8 miljoner kr. Med ORP uppgår intäkterna från vägavgifter till 3,5 miljoner kr.

Externa effekter och skatteeffekter av avgiftssystemet ingår i samhällsekonomiska kalkylen. I ORP är vägavgiften satt efter SMC för olyckor och emissioner. De normalt externa effekterna olyckor och emissioner är därmed internaliserade uppoffringar. I DVA är vägavgiften satt till halva SMC för olyckor och emissioner.

Tabell 5 Externa effekter kronor maxtimme 2015, prinsnivå 2001

	Utan avgifter	DVA	ORP	Förändring DVA	Förändring ORP
Buller	1 030 833	979 320	920 447	-52 514	-110 386
Olyckor	1 962 484	1 753 825	1 525 181	-208 659	-437 303
Summa luftutsläpp	313 896	282 958	242 173	-30 938	-71 723
Summa	3 307 213	3 016 103	2 687 801	-292 111	-619 412

Avgiftssystemens effekter på olyckor och emissioner beräknas som skillnaden mellan effekterna i UA och effekterna i JA och värderas på samma sätt som vid beräkningen av SMC för dessa effekter.

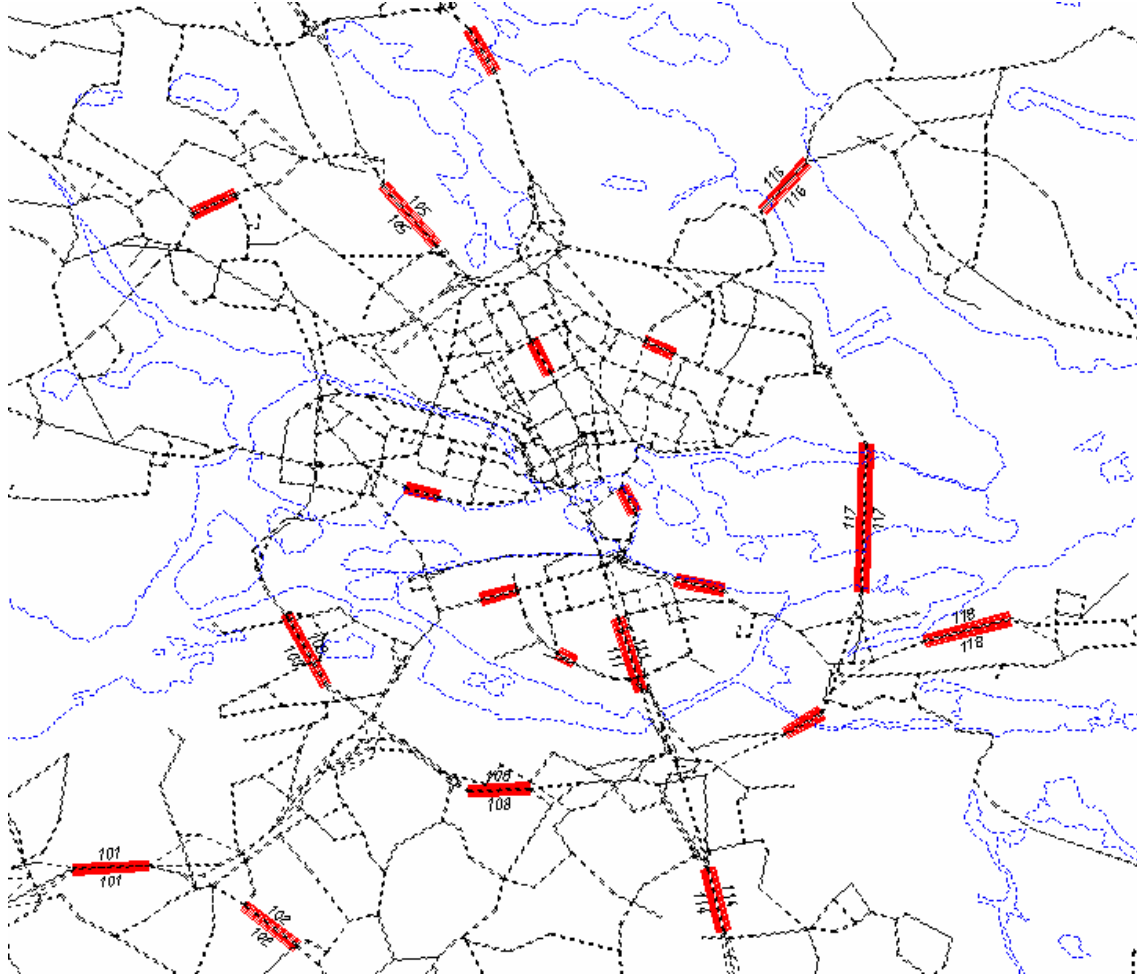
Skatteeffekterna visar att 30% (skattefaktor II) av förändringarna i drivmedelsförbrukning och vägavgift ersätter skatt från andra källor. Minskad drivmedelsförbrukning och ökade vägavgiftsintäkter ger netto ett positivt bidrag till kalkylerna. I DVA studien är summa skatteeffekt 482 000 kronor maxtimmen och i ORP studien 912 000 kronor i 2001 års priser.

Summerade effekter av att införa en vägavgift en maxtimme år 2015 är med DVA 2,0 miljoner kronor och med ORP är summerade nyttoeffekten 3,5 miljoner kronor under morgonens maxtimme.

Omega "index of relative welfare improvement" har beräknats som kvot mellan de två avgiftssystemens värderade effekter exklusive kostnader för buller och skatteeffekter eftersom de inte ingick i optimeringen.

Vägavgifter i nätverket

Vägavgifternas fördelning i vägnätet visas med ett antal värden från utvalda länkar som visas på följande karta.



Figur 3 Utvalda länkar för att visa vägavgiftsnivån

DVA =	Halva marginalkostnadspriser från Österledsstudien
ORP =	Optimala marginella externa kostnader
eavg/km =	Avgift för emissioner per km
oavg/okm =	Avgift för olyckor per km
tavg/km =	Trängselavgift per km
dva/km =	Summa avgift per km i DVA systemet
mc/km =	Summa avgift per km i ORP systemet = Marginella externa kostnader trängsel+olyckor+emissioner per km

Tabell 6 Vägavgifter på utvalda vägsträckor från DVA avgiftssystem och från ORP avgiftssystem.

Länk	DVA				ORP				Trängselavgift DVA / ORP	Länklängd (km)
	eavg/km	oavg/km	tavg/km	dva/km	eavg/km	oavg/km	tavg/km	mc/km		
E4 Västertorp V	0,04	0,11	0,25	0,40	0,08	0,21	0,50	0,79	51%	1
E4 Västertorp Ö	0,04	0,11	0,14	0,29	0,08	0,21	0,98	1,28	14%	1
Älvsjövägen Ö	0,04	0,45	0,21	0,70	0,08	0,90	0,91	1,90	23%	0,87
Älvsjövägen V	0,04	0,45	0,17	0,66	0,08	0,90	0,70	1,68	24%	0,87
E4 Trekanten S	0,04	0,11	0,70	0,84	0,08	0,21	1,90	2,20	36%	1,02
E4 Trekanten N	0,04	0,11	0,37	0,52	0,08	0,21	2,35	2,65	16%	1,02
Frösundaleden V	0,04	0,18	0,10	0,31	0,08	0,35	0,41	0,84	23%	0,55
Frösundaleden Ö	0,04	0,18	0,09	0,31	0,08	0,35	0,38	0,82	24%	0,55
E4 Uppsalavägen S	0,04	0,11	0,64	0,78	0,08	0,21	1,83	2,13	35%	0,93
E4 Uppsalavägen N	0,04	0,11	0,56	0,71	0,08	0,21	2,51	2,81	22%	0,93
Norrmälarstrand Ö	0,17	0,45	0,45	1,07	0,33	0,90	1,00	2,24	45%	0,39
Norrmälarstrand V	0,17	0,45	0,15	0,77	0,33	0,90	2,26	3,50	7%	0,39
Hornsgatan Zinken Ö	0,17	0,45	0,95	1,56	0,33	0,90	4,60	5,84	21%	0,58
Hornsgatan Zinken V	0,17	0,45	0,65	1,26	0,33	0,90	2,78	4,01	23%	0,58
Södrälänken Årsta Ö	0,04	0,18	0,23	0,45	0,08	0,35	0,67	1,11	34%	0,8
Södrälänken Årsta V	0,04	0,18	0,16	0,37	0,08	0,35	0,55	0,99	28%	0,8

Länk	DVA	DVA	DVA	DVA	ORP	ORP	ORP	ORP	Trängselavgift	Länklängd (km)
	eavg/km	oavg/km	tavg/km	dva/km	eavg/km	oavg/km	tavg/km	mc/km	DVA / ORP	
E18 Norrtäljev. S	0,04	0,11	0,52	0,66	0,08	0,21	1,93	2,23	27%	0,66
E18 Norrtäljev. N	0,04	0,11	0,13	0,28	0,08	0,21	0,58	0,88	22%	0,66
Söderleden S	0,17	0,11	0,54	0,81	0,33	0,21	0,70	1,24	78%	0,9
Söderleden N	0,17	0,11	0,12	0,39	0,33	0,21	2,14	2,68	6%	0,9
Skeppsbron N	0,17	0,45	0,11	0,72	0,33	0,90	0,00	1,24	6638%	0,35
Skeppsbron S	0,17	0,45	0,00	0,62	0,33	0,90	0,36	1,59	0%	0,35
Valhallav. V	0,17	0,45	0,08	0,69	0,33	0,90	0,20	1,43	37%	0,38
Valhallav. Ö	0,17	0,45	0,05	0,67	0,33	0,90	0,38	1,61	13%	0,38
Nynäsvägen N	0,04	0,11	0,47	0,61	0,08	0,21	0,84	1,13	56%	0,76
Nynäsvägen S	0,04	0,11	0,17	0,31	0,08	0,21	1,53	1,82	11%	0,76
Stadsgårdsleden V	0,17	0,45	0,19	0,81	0,33	0,90	0,14	1,38	133%	0,67
Stadsgårdsleden Ö	0,17	0,45	0,04	0,66	0,33	0,90	1,20	2,43	3%	0,67
Lidingöbron V	0,04	0,18	0,14	0,36	0,08	0,35	0,16	0,60	83%	1
Lidingöbron Ö	0,04	0,18	0,05	0,26	0,08	0,35	0,54	0,98	8%	1
Österleden N	0,04	0,18	0,31	0,52	0,08	0,35	0,54	0,98	56%	1,46
Österleden S	0,04	0,18	0,15	0,37	0,08	0,35	1,08	1,52	14%	1,46
Värmdöleden Finntorp V	0,04	0,11	0,11	0,26	0,08	0,21	0,39	0,68	29%	1,2
Värmdöleden Finntorp Ö	0,04	0,11	0,02	0,17	0,08	0,21	0,08	0,37	28%	1,2
Ringvägen Sös Ö	0,17	0,45	0,80	1,41	0,33	0,90	2,44	3,67	33%	0,2
Ringvägen Sös V	0,17	0,45	0,18	0,80	0,33	0,90	0,69	1,93	26%	0,2
E20 Sickla sluss Ö	0,04	0,11	0,46	0,61	0,08	0,21	1,66	1,95	28%	0,5
E20 Sickla sluss V	0,04	0,11	0,18	0,33	0,08	0,21	0,73	1,02	25%	0,5