

Rushtidsavgift for miljøøkonomi i Oslo

Marie Aarestrup Aasness



Department of Economics

UNIVERSITETET I OSLO

7 november 2008

Forord

Våren 2008 bestemte jeg meg for å skrive masteroppgave med tema rushtidsavgift i Oslo. Jeg har utviklet en egen teoretisk modell og kombinert denne med en empirisk og praktisk modell, som jeg har anvendt på optimal prisfastsetting.

Jeg skylder min veileder Kjell Arne Brekke stor takk for støtte og ikke minst inspirerende og hyggelig veiledning gjennom hele prosessen. Jeg takker også styret i Osloforskning for støtte og oppmuntring gjennom stipendet jeg ble tildelt. Til slutt vil jeg takke venner og familie som har støttet meg og bidratt med korrekturlesing.

Jeg står selv ansvarlig for eventuelle feil eller mangler i oppgaven.

16. desember 2008

Marie Aarestrup Aasness

Innhold

FORORD	2
INNHold	3
1. INNLEDNING	4
2. ØKONOMISK BEGRUNNELSE FOR KØAVGIFT	6
3. FORUTSETNINGER OG BEGRENSNINGER I MODELLEN	8
4. TEORETISK MODELL	9
4.1 GENERELL MODELL.....	9
4.2 LIKEVEKT UTEN RUSHTIDSAVGIFT.....	11
4.3 LIKEVEKT MED RUSHTIDSAVGIFT.....	17
4.3.1 <i>Optimal avgift før \tilde{t}</i>	17
4.3.2 <i>Optimal avgift etter \tilde{t}</i>	18
4.4 TOTALE KOSTNADER.....	19
4.4.1 <i>Totale kostnader uten rustidsavgift</i>	20
4.4.2 <i>Totale kostnader med rushtidsavgift</i>	23
5. EKSTERNE MILJØKOSTNADER	27
5.1 <i>Innfører eksterne miljøkostnader</i>	27
6. MODELL MED EMPIRISKE TALL FOR OSLO	29
7. SAMSPILL KØ OG MILJØEKSTERN KOSTNAD	36
8. KONKLUSJON	37
REFERANSER	39
VEDLEGG. ANTALL BENSINBILER OG DIESELBILER I OSLO	41

1. Innledning

Hver dag står tusenvis av mennesker i kø inn til Oslo by. I motsetning til Oslo har både London og Stockholm innført rushtidsavgift. Resultatene fra Stockholmforsøket viser at reduksjonen i trafikken til og fra sentrum ble 20-25%. Tiden tilbrakt i kø gikk ned 30-50% . I tillegg gikk utslipp av miljøgass i sentrum ned 14%. (Vingan m fl 2007). Er det på tide å innføre en tilsvarende ordning i Oslo?

Kø oppstår når for mange biler er på veien samtidig. Ved å begrense antall bilister kan køene begrenses. En rushtidsavgift kan begrense antall bilister når trengselen på veiene er størst. Det å innføre en rushtidsavgift gir en økonomisk belastning. Når prisen på tilstedeværelse øker, vil individet avgjøre om det er verdt prisen. En høy rushtidsavgift fører til at individer med lav betalingsvillighet vil forsøke å redusere bilbruken. En optimal rushtidsavgift vil øke når det er i ferd med å oppstå kø, og avta når det er plass nok. Køprisen forteller individet at inntreden i køen vil bidra til mange ekstra køminutter. Auksjoner er et eksempel på hvor varen går til høystbydende. Et knapt antall kjøplasser kan på samme måte auksjoneres bort til individene med høyest betalingsvillighet. (Røed Larsen (2007))

”In nearly all other operations characterized by peak load problems, at least some attempt is made to differentiate between rates charged for peak and off-peak service.” (Vickrey 1963, s.452.) For over førti år siden forsket William Vickrey på muligheten for å innføre rushtidsavgift. Han påpekte at rushtidsavgift på veiene burde innføres fordi det var et av de få stedene hvor tidsdifferensiering av etterspørsel ikke var iverksatt. Et eksempel er hotell som har ulik pris for høysesong og lavsesong. I dag, førti år senere er det fortsatt ikke innført rushtidsavgift i Oslo.

Denne oppgaven vil analysere betydningen av en rushtidsavgift for Oslo, i form av høyere bomavgift. En rushtidsavgift i Oslo medfører ingen kostnad i materielle goder, siden bomstasjonene allerede er satt opp. Ingen individer får glede av å stå i kø. Kø

gir et effektivitetstap til samfunnet. Skaden kan reduseres ved å prise den negative eksterne kostnaden bilkjøring påfører samfunnet i rushtiden.

Jeg ønsker å kombinere miljøøkonomi og rushtidsavgift. Ved å kombinere to vitenskapelige artikler, vil det være mulig å se sammenhengen mellom miljø og rushtid. Johansson-Stenman (2006) analyserer miljøkostnader og kø, men gjelder ikke rushtiden spesielt. Arnott m fl (1993) modellerer opphoping på veiene i rushtiden. Miljøkostnaden i denne artikkelen vil være kostnaden ved å stå i kø. Andre eksterne miljøkostnader blir ikke tatt hensyn til. Oppgaven har som formål å analysere rushtidsavgift, slik at Johansson-Stenman (2006) ikke er aktuell å bruke som hovedgrunnlag for modellen i oppgaven. Artikkelen trekkes inn senere. Arnott m fl (1993) brukes som utgangspunkt for denne oppgaven.

Arnott m fl (1993), foretar en detaljert analyse av William Vickreys's modell om flaskehalsoppopping av biler, under morgenrushet. Videre utvider Arnott m fl (1993) modellen med prissensitiv etterspørsel. Arnott m fl (1993) vurderer flaskehalsene på fire ulike måter. Denne oppgaven vil utdype to tilfeller. Det første tilfellet er uten rushtidsavgift, "no toll". Det andre tilfellet er med en variabel rushavgift, "fine toll".

Miljøproblematikken bilene skaper utenom kø krever tiltak som påvirker individenes adferd. Verken Arnott m fl (1993) eller Johansson-Stenman (2006) har innført tiltak utenom veipricing. Miljøproblemet står sentralt i dagens klimadebatter. Rasjonelle individer uten et alternativ til å kjøre bil endrer ikke adferd med rushtidsavgift. Innfører offentlig transport i modellen, for å få elastisk etterspørsel. Offentlig transport gir individene en alternativ reisemulighet, og rushtidsavgiften kan dermed påvirke individenes adferd.

2. Økonomisk begrunnelse for køavgift

Bilkjøring påfører samfunnet flere eksterne kostnader i rushtiden. Eksterne kostnader er kostnader som forbrukere eller bedrifter påfører andre aktører, og som de ikke trenger å ta hensyn til i sin egen tilpasning, (Finansdepartementet (2003)). Det er samfunnsøkonomisk ønskelig å sette en pris på negative eksterne kostnader. Mer kø medfører mer forurensning. Foreligger det kø vil en ny bilfører påføre enda større forsinkelse ved selv å kjøre. Dette gir to eksterne kostnader. En miljøkostnad og en tidskostnad. Ved å sette økte bomavgifter i rushtiden kan unødig forurensning reduseres, for eksempel redusere antall biler som står på tomgang i kø. Individene med høyest betalingsvilje for tidsbesparelser får mulighet til å komme fortere frem. Ved å innføre en avgift lik den marginale sosiale kostnaden ved å kjøre, vil individene ta hensyn til kostnaden de påfører andre og naturen. Bilførerne tar utgangspunkt i den samfunnsøkonomiske kostnaden, og ikke kun den private kostnaden som er for lav.

Miljøavgift kan kategoriseres under særavgifter. Særavgifter¹ er en avgift som legges direkte på enkelte varer og tjenester. Slike avgifter kan være effektivitetsfremmende fordi brukeren tar hensyn til alle kostnader som bruken medfører samfunnet. Begrepet effektivitetsfremmende betyr økt samfunnsøkonomisk effektiv ressursbruk. Det består av effektivitet i produksjonen, effektivitet i forbruket og effektiv sammensetning av produksjon og forbruk (NOU (1996: 9)). Det skal ikke være mulig

¹ Særavgifter legges direkte på enkelte varer og tjenester. Det finnes to typer særavgifter. For det første er særavgifter en fellesbetegnelse på avgifter som betales ved innførsel, produksjon eller innenlandsk omsetning av nærmere angitte varer og enkelte tjenester (bensinavgift). For det andre dekker særavgiftene også avgifter knyttet til å eie eller endre eierforhold til bestemte varer og fast eiendom (årsavgift på bil). Enkelte særavgifter er rent fiskalt begrunnet, målet er å skaffe staten inntekter til å finansiere offentlige utgifter. I tillegg benyttes særavgiftene som et virkemiddel for å prise indirekte virkninger av forbruk og produksjon (miljøskadelige utslipp). Disse avgiftene setter en pris på indirekte virkninger, og er med på å sikre at forbrukerne tar tilstrekkelig hensyn til kostnadene de påfører miljøet. Særavgiftene fastsettes av Stortinget for ett år av gangen i medhold av Grunnloven §75a. (Finansdepartementet (2008))

å øke tilgangen til en vare eller tjeneste uten at tilgangen til andre goder reduseres. Er dette mulig gjennom en ren omfordeling, blir ikke ressursene brukt effektivt. På samme måte skal det ikke være mulig å øke noen konsumenters velferd uten å redusere noen andres velferd. I optimum vil den marginale betalingsviljen for konsumentene være lik den marginale kostnaden for å produsere godet. Dersom kravene til samfunnsøkonomisk effektivitet er oppfylt, utnyttes ressursene på en måte som maksimerer de samlede forbruksmulighetene for befolkningen. (NOU 2007:8, s.27-28.)

Den viktigste begrunnelsen for å innføre miljøavgifter er at avgiftene kan gi en miljøgevinst i form av redusert forurensing. Kostnadseffektivitet er et grunnleggende prinsipp for miljøpolitikken. Kostnadseffektivitet innebærer at et gitt miljømål oppnås til lavest mulige kostnader. En mest mulig målrettet miljøavgift tilsier at avgiften skal legges direkte på den miljøskadelige aktiviteten. (NOU 2007:8, s.31.)

En optimal miljøkvalitet realiseres når verdien av å redusere utslippet marginalt er like stor som kostnaden ved å gjennomføre denne utslippsreduksjonen. Innføres det en avgift lik den marginale skaden medfører, vil forurenseren tilpasse seg slik at den marginale tiltakskostnaden blir lik miljøavgiften. Ideelt sett burde bilbrukere stilles overfor de marginale, lokale kostnadene ved bilkjøring. Dette kan gjøres gjennom ulike systemer for veipricing. Veipricing kan gjøre det mulig å differensiere avgiftssatsene i prisingssystemet mellom storbyer, tettbygde- og spredte strøk. (NOU 2007:8, s.31, s.79.)

Dersom trafikken flyter fritt, vil den marginale køkostnaden være tilnærmet null. Ved opphoping på veiene vil kostnaden øke, og nærme seg kapasitetsgrensen. På tider og strekninger hvor kø oppstår, vil en køavgift redusere mye av tidstapet, øke fremkommeligheten og bedre miljøkvaliteten. (Vingan m fl 2007, s.2.) Den marginale eksterne tidskostnaden er verdien av det tidstap den siste bilisten påfører alle andre trafikanter.

3. Forutsetninger og begrensninger i modellen

Modellen bygger på forenklede forutsetninger, og forutsetter et veldig stilisert transportsystem. Dette gjøres for at modellen ikke skal bli for omfattende og for å kunne gi et forenklet bilde av kødannelse. I situasjonen forutsettes det at et gitt antall biler skal kjøre samme vei og krysse en flaskehals hvor det er satt opp en bom. Flaskehalsen individene skal passere har en begrenset kapasitet. Overstiger antall individer kapasiteten til flaskehalsen dannes det kø. Alle bilistene vil være homogene. Homogene vil si at alle er like og har samme preferanser. Det er kun snakk om privatbiler og det vil være en person i hver bil.

Alle individer er rasjonelle og vil gjøre det som er best for seg. Andre ytre påvirkninger kan medføre at noen ikke lenger ønsker å kjøre bil. For eksempel at offentlig transport blir billigere eller bedre. Det kan også tenkes at folk blir mer miljøbevisste, og av den grunn ønsker å benytte andre fremkomstmidler som sykkel eller buss.

I virkeligheten kan det ofte være mulig å ta andre veier for å unngå kryss med mye kø. Dette medfører at modellen gir et snevert og fiktivt bilde av virkeligheten. Hvor store konsekvenser slike forenklinger får er usikkert. Det er ikke kun de økte kostnadene i virkeligheten som ikke blir tatt hensyn til i modellen. Yrkes- og tjeneste kjøretøy er store vinnere av rushtidsavgift, (Algers m fl (2007)), men disse gevinstene blir utelatt i modellen.

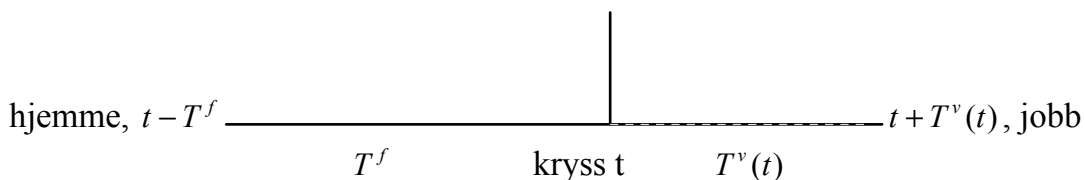
Virkningene av en veipris kommer tydelig frem. Alle individene betaler for den direkte tidskostnaden og miljøkostnaden de påfører andre ved å kjøre. I Oslo vil det være mange veikryss med køproblemer. Det finnes mange ulike bomstasjoner, likevel vil ikke disse bommene fange opp alle bilistene som skal på jobb. Dette medfører at noen skaper kø uten å betale, mens andre ikke påfører kø men må betale.

4. Teoretisk modell

4.1 Generell modell

Hver morgen reiser N identiske individer til jobb. Hvert individ bestemmer selv når det ønsker å dra. Dette er en avveining av enhetskostnaden ved å komme for tidlig på jobb, komme for sent på jobb, reisetid i kø og bomavgiften. Statistisk tilfeldighet sikrer at alle ikke drar samtidig, siden alle er indifferente om når de drar. Antar at den totale reisetiden, $T(t)$, er delt opp i fast reisetid, T^f , og variabel reisetid $T^v(t)$, der t er det tidspunktet individet ankommer flaskehalsen. Den variable reisetiden vil være avhengig av hvor mange biler som ønsker å komme seg gjennom flaskehalsen på samme tid. Antar videre at den faste reisetiden er før individet ankommer flaskehalsen. Med en gang individet er gjennom krysset er det fremme.

$$1) T(t) = T^f + T^v(t)$$



Variabel reisetid avhenger av kølengden, $D(t)$, og antall biler som kan passere per tidsenhet, s . Eksisterer det ikke kø er $T^v(t)$ lik null. Dersom antall biler som ankommer flaskehalsen overstiger s per tidsenhet, utvikles det kø. Tiden i kø for hvert individ er lik kølengden på tidspunktet individet ankommer køen dividert med flaskehalskapasiteten.

$$2) T^v(t) = \frac{D(t)}{s}$$

Målet er å finne en optimal rushtidsavgift. Opphoping på veiene er grunnet for mange biler på veien samtidig. Prisjusteringer kan påvirke individenes tidspunkt å reise på. Ved å kartlegge når køen starter og slutter finner man hvilke tidspunkt individene reiser til jobb. Avreisefunksjonen fra flaskehalsen, $r(t)$, viser hvor mange som drar på tidspunkt t . Overstiger antall individer som skal gjennom krysset, kapasiteten per tidsenhet, s , dannes det kø. Kølengden blir

$$3) D(t) = \int_{t_0}^t r(u) du - s(t - t_0)$$

$p(t)$ er pris per reise, og vil variere avhengig av reisetidspunkt. Prisen per reise er summen av private kostnader, $C(t)$, og rushtidsavgiften, $Q(t)$.

$$4) p(t) = C(t) + Q(t)$$

Hvert individ avveier når det skal dra hjemmefra. Den private kostnadsfunksjonen, $C(t)$, viser kostnadene ved å reise på de ulike tidspunktene.

$$5) C(t) = \begin{cases} \alpha[T^v(t) + T^f] + \beta[t^* - t - T^v(t)] & \text{for } t < \tilde{t} \\ \alpha[T^v(t) + T^f] + \gamma[t + T^v(t) - t^*] & \text{for } t > \tilde{t} \end{cases}$$

Hvor α er skyggeprisen på variabel reisetid, altså kostnaden ved å stå i kø. Individene som kommer tidlig på jobb, belastes enhetskostnaden, $\beta [t^* - t - T^v(t)]$. Individene som kommer presis på jobb, t^* , reiser fra flaskehalsen på tidspunkt, \tilde{t} , $\tilde{t} + T^v(\tilde{t}) = t^*$. Individene som kommer sent på jobb belastes enhetskostnaden, $\gamma [t + T^v(t) - t^*]$. Det første individet som ankommer jobb, reiser fra krysset i tidspunkt, t_0 . Det siste individet som ankommer jobb, reiser fra krysset i tidspunkt, t_1 .

Individene som drar først og sist slipper kø, $T^v(t_0) = T^v(t_1) = 0$. De betaler en kostnad ved å komme tidlig eller sent på jobb. På tidspunkt \tilde{t} betaler individet kun

kostnadene ved å stå i kø, slik at $\tilde{t} = t^* - T^v(\tilde{t})$. Kostnadene for intervallene imellom består av å stå litt i kø og komme litt tidlig eller sent på jobb.

I overensstemmelse med empiriske resultater har Arnott m fl (1993) antatt at $\gamma > \alpha > \beta$. Det vises senere at det er naturlig² at $\beta < \alpha$, hvis ikke ville ingen dratt i intervallet mellom t_0 og \tilde{t} . Videre er det naturlig at $\gamma > \beta$, siden det er verre å komme sent på jobb enn tidlig. De private kostnadene er gitt til å være lineær i reisetid, β og γ . Kostnadene avhenger av antall individer i intervallet, og kølengden som representerer opphoping i tidligere intervaller.

4.2 Likevekt uten rushtidsavgift

Veiene har begrenset kapasitet, og med for mange bilister oppstår det kø. Ved ikke å prise et gode vil vi i utgangspunktet få for stor etterspørsel som gir trengsel på veiene. Nedenfor følger resultatene uten rushtidsavgift, altså $Q(t)=0$.

Pris per reise ved å dra tidlig, $t \leq \tilde{t}$, er som følger

$$6) \quad p(t) = \alpha T^v(t) + \beta(t^* - t - T^v(t)) + \alpha T^f$$

Omforming gir;

$$7) \quad T^v(t) = \frac{p(t) - \beta(t^* - t) - \alpha T^f}{\alpha - \beta}$$

Likevektsprisen er en pris hvor etterspørselen er lik tilbudet. For enhver pris hvor etterspørsel ikke er lik tilbudet, vil en økonomisk agent ha interesse av å endre sin oppførsel. (Varian, s.219.) Likevektsbetingelsen krever $\frac{dp}{dt} = 0$. I likevekt vil ingen

² Vi ser f.eks at 8) og 10) ville bli negative, om ikke $\alpha > \beta$

ønske å endre tilpasning, slik at den deriverte av prisen med hensyn på tiden er lik null. Likevektsløsningen gir,

$$8) \frac{dT^v(t)}{dt} = \frac{\beta}{\alpha - \beta}$$

Antall individer som drar på de ulike tidspunktene, $r(t)$, vil gi et anslag på når køen oppstår. Dersom antall biler som ankommer krysset er større enn kapasiteten per tidsenhet, s , oppstår det kø. (3) gir:

$$9) \frac{dD(t)}{dt} = r(t) - s$$

Ved å benytte (2), (8) og (9) blir avreisefunksjonen ved å dra tidlig

$$10) r(t) = \frac{dD(t)}{dt} + s = s \frac{dT^v}{dt} + s = s \frac{\beta}{\alpha - \beta} + s \frac{(\alpha - \beta)}{\alpha - \beta} = \frac{s\alpha}{\alpha - \beta}$$

Ved samme fremgangsmåte blir avreisefunksjonen fra krysset, $r(t)$, for individene som drar sent, $t \geq \tilde{t}$, følgende. Pris per reise

$$11) p(t) = \alpha T^v(t) + \gamma(t + T^v(t) - t^*) + \alpha T^f$$

Omforming av 11) gir

$$12) T^v = \frac{[p(t) - \gamma(t^* - t)] - \alpha T^f}{\alpha + \gamma}$$

Likevekt gir;

$$13) \frac{dT^v}{dt} = -\frac{\gamma}{\alpha + \gamma}$$

Fra (2), (3), (9) og (13) blir avreisefunksjonen fra krysset ved å dra sent, $t \geq \tilde{t}$:

$$14) r(t) = \frac{dD(t)}{dt} + s = \frac{dT^v}{dt} s + s = -\frac{s\gamma}{\alpha + \gamma} + s = -\frac{s\gamma + s\gamma + s\alpha}{\alpha + \gamma} = \frac{s\alpha}{\alpha + \gamma}$$

Setter inn for $r(t)$ i (3) og finner kølengden for de ulike avreisetidene.

$$D(t) = \frac{s\alpha}{\alpha - \beta}(t - t_0) - s(t - t_0) = \frac{s\beta}{\alpha - \beta}(t - t_0) \text{ for } t < \tilde{t}$$

Finner de variable reisetidskostnadene fra (2) for avreise $t < \tilde{t}$

$$15) T^v(t) = \frac{\beta}{\alpha - \beta}(t - t_0)$$

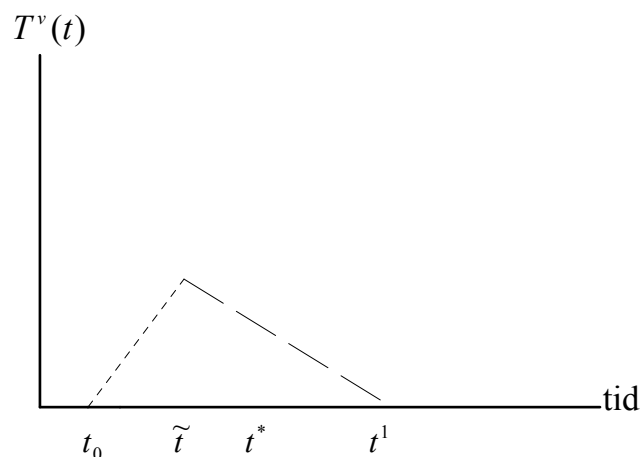
Med bruk av samme fremgangsmåte blir kølengden for $t > \tilde{t}$ som følger

$$D(t) = \frac{s\alpha}{\alpha + \gamma}(t_1 - t) - s(t_1 - t) = \frac{s\gamma}{\alpha + \gamma}(t_1 - t) \text{ for } t > \tilde{t}$$

Ved bruk av (2) blir variable reisetidskostnader for $t > \tilde{t}$.

$$16) T^v(t) = \frac{\gamma}{\alpha + \gamma}(t_1 - t)$$

Derivering med hensyn på t gir stigningstallene til grafen som også er vist i (8) og (13)



Figuren illustrer at det ikke er kø for individene som drar i t_0 og t_1 . Kostnadene er derfor like ved å dra i disse tidspunktene.

$$17) \frac{\beta}{\alpha - \beta} (\tilde{t} - t_0) = \frac{\gamma}{\alpha + \gamma} (t_1 - \tilde{t})$$

Det går kun et visst antall biler, s , gjennom krysset per tidsenhet. Dersom antall biler overstiger s per tidsenhet utvikles kø. Lengden av rushtiden blir antall individer som skal gjennom krysset dividert med antall individer som kan passere krysset per tidsenhet, s . Lengden av rushtiden blir N/s . Rushtiden starter i t_0 . Summen av t_0 og intervallengden gir tidspunktet på når intervallet slutter.

$$18) t_1 = t_0 + \frac{N}{s}$$

(17) og (18) gir

$$19) \frac{\gamma}{\alpha + \gamma} (t_1 - \tilde{t}) = \frac{\gamma}{\alpha + \gamma} (t_0 + \frac{N}{s} - \tilde{t}) = \frac{\gamma}{\alpha + \gamma} (-\tilde{t} + t_0) + \frac{\gamma}{\alpha + \gamma} \frac{N}{s}$$

(17) og (19) gir

$$20) (\tilde{t} - t_0) \left(\frac{\beta}{\alpha - \beta} + \frac{\gamma}{\alpha + \gamma} \right) = \frac{\gamma}{\alpha + \gamma} \frac{N}{s}$$

Individet som reiser i tidspunkt \tilde{t} ankommer jobb presis, t^* . Differansen mellom å komme presis og tidspunktet individet ankommer krysset forteller hvor lenge individet står i kø. Ved å dra i tidspunkt \tilde{t} utsettes individet kun for køkostnaden, jf (5).

$$21) T^v(\tilde{t}) = t^* - \tilde{t}$$

Det trengs kun å ta utgangspunkt i det ene intervallet, når kostnadene er like (jf 17)).

$T^v(\tilde{t})$ er kjent fra (15). (15) og (21) gir

$$22) \frac{\beta}{\alpha - \beta} (\tilde{t} - t_0) = t^* - \tilde{t}$$

Definerer

$$a = \frac{\beta}{\alpha - \beta}, b = \frac{\gamma}{\alpha + \gamma}, x = \tilde{t} - t_0$$

Likningene (20) og (22) blir

$$\tilde{t} + ax = t^*$$

$$(a + b)x = b \frac{N}{s}$$

Dette gir to likninger med to ukjente

$$x = \frac{b}{(a + b)} \frac{N}{s}$$

$$\tilde{t} = t^* - ax = t^* - \frac{ab}{(a+b)} \frac{N}{s}$$

Setter inn for a og b, og forenkler ³

$$23) \tilde{t} = t^* - \left(\frac{\beta}{\alpha} \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \right) \frac{N}{s}$$

Dette gir

$$t_o = \tilde{t} - x = t^* - \left(\frac{ab}{a+b} \right) \frac{N}{s} - \frac{b}{a+b} \frac{N}{s} = t^* - \left(\frac{ab+b}{a+b} \right) \frac{N}{s}$$

Setter inn for a og b, og forenkler ⁴

$$24) t_o = t^* - \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \frac{N}{s}$$

Innsetting av (24) i (18) gir

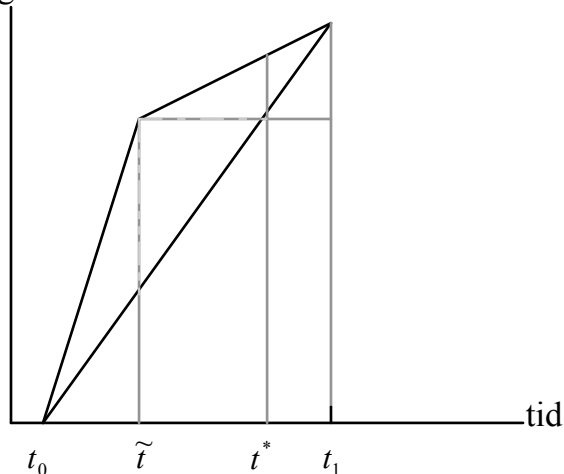
$$25) t_1 = t_o + \frac{N}{s} = t^* + \left(\frac{(\beta + \gamma) - \gamma}{\beta + \gamma} \right) \frac{N}{s} = t^* + \left(\frac{\beta}{\beta + \gamma} \right) \frac{N}{s}.$$

$$^3 \frac{ab}{(a-b)} = \frac{\frac{\beta\gamma}{(\alpha-\beta)(\alpha+\gamma)}}{\frac{\beta(\alpha+\gamma)+\gamma(\alpha-\beta)}{(\alpha-\beta)(\alpha+\gamma)}} = \frac{\beta\gamma}{\beta(\alpha+\gamma)+\gamma(\alpha-\beta)} = \frac{\beta\gamma}{\alpha(\beta+\gamma)} = \frac{\beta}{\alpha} \frac{\gamma}{\beta+\gamma}$$

$$^4 \frac{ab+b}{a+b} = \frac{\frac{\beta\gamma+\gamma(\alpha-\beta)}{(\alpha-\beta)(\alpha+\gamma)}}{\frac{\beta(\alpha+\gamma)+\gamma(\alpha-\beta)}{(\alpha-\beta)(\gamma+\alpha)}} = \frac{\beta\gamma+\gamma(\alpha-\beta)}{\beta(\alpha+\gamma)+\gamma(\alpha-\beta)} = \frac{\alpha\gamma}{\alpha(\beta+\gamma)} = \frac{\gamma}{\beta+\gamma}$$

Kølengthen øker fra t_0 frem til \tilde{t} , hvor den gradvis avtar til den forsvinner ved t_1 . Resultatene vises i figuren nedenfor.

Kumulativ avreise
og ankomst



4.3 Likevekt med rushtidsavgift

En rushtidsavgift kan gi ulike effekter. Innfører en avgift $Q(t)$ som er avhengig av når individet passerer knutepunktet. Denne rushtidsavgiften varierer gjennom døgnet.

Den variable optimale rushtidsavgiften gir ingen kø. Avreise i \tilde{t} er fortsatt avreisetidspunktet for å komme presis på jobb. Ingen kø gjør at individene kan reise senere for å komme presis, slik at \tilde{t} endres med en rushtidsavgift. Tiden det tar å avvikle køen er den samme som uten rushtidsavgift. Det er like mange individer som skal gjennom krysset, før og etter rushtidsavgiften. Kostnaden ved å dra først og sist påvirkes derfor ikke av rushtidsavgift.

4.3.1 Optimal avgift før \tilde{t} :

Ved å finne den optimale rushtidsavgiften, må det tas utgangspunkt i pris per reise. Det første tilfellet er den optimale avgiften før \tilde{t} . (4) og (5) gir pris per reise før \tilde{t} .

$$26) p(t) = \alpha T^v(t) + \beta[t^* - t - T^v] + T^F + Q(t)$$

Likevektsbetingelsen gir $p'(t) = 0$

$$p'(t) = \alpha T^{v'}(t) - \beta T^{v'}(t) - \beta + Q'(t)$$

$$27) \frac{dT^v(t)}{dt} = 0 \text{ for } Q'(t) = \beta$$

For å få de variable tidskostnadene til å være null slik at $\tilde{t} = t^*$, velges de marginale variable tidskostnadene lik $Q'(t) = \beta$. Definerer q som avgiften ved tidspunkt t_0 .

$$28) q = Q(t_0)$$

Ser foreløpig på tilfellet hvor $q=0$, slik at t_0 og t_1 ikke endres. Antall individer er fortsatt eksogent gitt, bestemt utenfor modellen, og avhenger ikke av q . Den optimale avgiften før \tilde{t} blir

$$29) Q(t) = q + \beta(t - t_0) \text{ for } t < \tilde{t}$$

4.3.2 Optimal avgift etter \tilde{t} :

Den optimale avgiften etter \tilde{t} regnes ut med samme metode. (4) og (5) gir prisen per reise etter \tilde{t} .

$$30) p(t) = \alpha T^v(t) + \gamma[t + T^v - t^*] + T^F + Q(t)$$

Likevektsbetingelsen gir $p'(t) = 0$

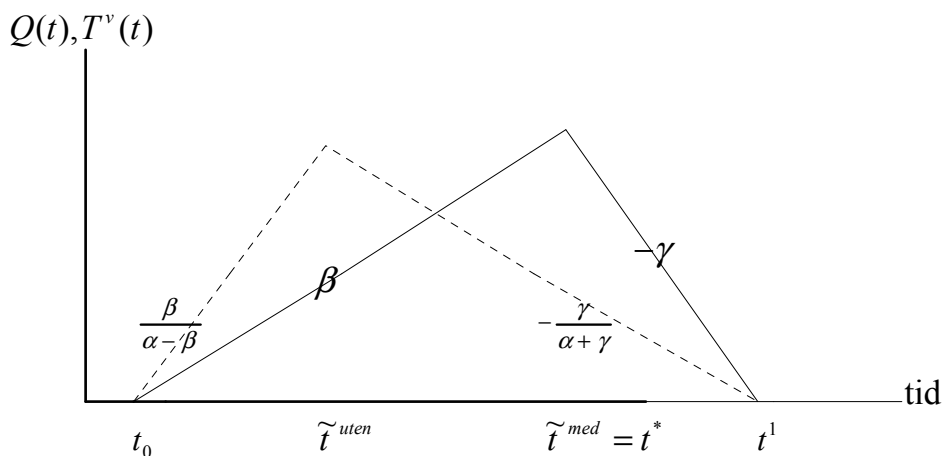
$$p'(t) = \alpha T^{v'}(t) + \gamma T^{v'}(t) + \gamma + Q'(t)$$

$$31) T'(t) = 0 \text{ for } Q'(t) = -\gamma$$

En optimal avgift gir ingen kø. For å få de variable tidskostnadene lik null må $Q'(t) = -\gamma$. Den optimale avgiften etter \tilde{t} blir

$$32) \quad Q(t) = q + \gamma(t_1 - t) \text{ for } t > \tilde{t}$$

Rushtidsavgiften regulerer antall individer som ankommer krysset slik at $\tilde{t} = t^*$. Figuren illustrer tilfellene med og uten rushtidsavgift. Den stiplete kurven viser tilfellet uten rushtidsavgift. Den heltrukne kurven viser resultatet med en optimal rushtidsavgift. Køkostnadene uten rushtidsavgift er lik bomavgiften med rushtidsavgift.



Rushtidsavgiften er lik for den første og siste som drar, dermed gjelder $\beta(\tilde{t} - t_0) = \gamma(t_1 - \tilde{t})$. Avgiftene blir lik hverandre når t går mot \tilde{t} . Det gir

$$Q(\tilde{t}) = \lim_{t \uparrow \tilde{t}} Q(t) = \lim_{t \downarrow \tilde{t}} Q(t)$$

4.4 Totale kostnader

Dette kapitlet sammenligner de totale kostnadene med og uten rushtidsavgift.

Kostnadene uten rushtidsavgift kjennetegnes ved at de ikke inkluderer de eksterne

virkningene. Sammenligning av de marginale sosiale kostnadene viser effekten av en rushtidsavgift. De totale kostnadene defineres nedenfor:

TVTC: total variabel reisetidskostnad

TFC: totale faste reisekostnader

SDC: total kostnad ved å komme for tidlig/sent på jobb

TVC: totale variable kostnader

TC: total reisekostnad.

De totale variable kostnadene er summen av de totale variable reisetidskostnadene, *TVTC* og kostnadene ved ikke å komme presis på jobb, *SDC*.

$$TVC = TVTC + SDC$$

Summen av de variable reisekostnadene og de faste kostnadene gir de totale kostnadene.

$$TC = TVC + TFC$$

Det skilles mellom kostnader med rushtidsavgift og uten rushtidsavgift. Kostnadene påføres toppskrift o og e. Disse definerer henholdsvis sosialt optimum og ingen rushtidsavgift likevekt. TC^e er totale reisekostnader i likevekt uten rushtidsavgift, og TC^o er totale reisekostnader i likevekt med sosialt optimum, rushtidsavgift.

4.4.1 Totale kostnader uten rushtidsavgift

Totale faste kostnader er $N\alpha T^f$. De variable kostnadene vokser og avtar lineært. Kostnadene avhenger av avreisetidspunktet. Tidligere regning viser at $r(t)$ er konstant. (jf 10) og 14)). Gjennomsnittlige kostnader kan finnes ved å regne ut

arealet for å dra i tidsintervallet fra t_0 til \tilde{t} , og ved å dra i tidsintervallet fra \tilde{t} til t_1 .

Det trengs kun å ta utgangspunkt i kostnadene ved å dra på tidspunkt \tilde{t} , grunnet linearitet. [jf 17)] De gjennomsnittlige variable reisetidskostnadene vil være

halvparten av de maksimale variable reisetidskostnadene, $\frac{1}{2}T^v(\tilde{t})$. Finner fra (20)

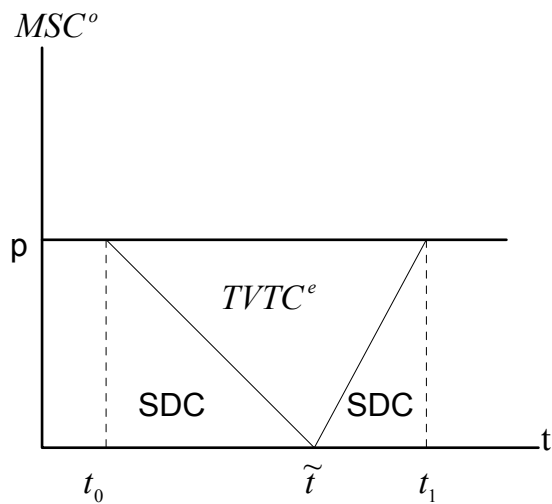
$$T^v(\tilde{t}) = \left(\frac{\beta}{\alpha} \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \right) \frac{N}{s}.$$

Definerer $\delta \equiv \frac{\beta\gamma}{\beta + \gamma}$

Multipliserer med α for å finne de variable reisetidskostnadene for \tilde{t} . De totale variable reisetidskostnadene er de variable reisetidskostnadene multiplisert med antall individer N.

$$33) \text{TVTC}^e(N) = \frac{\delta}{2} \frac{N^2}{s}$$

Prisen for hvert individ er lik uansett reisetid. Kostnaden for hvert individ består av tiden i kø, kostnaden ved å komme tidlig/sent på jobb eller en blanding.



Figuren viser at $TVTC^e(t_0) = SDC^e(\tilde{t})$. Dette gjør at likheten gjelder for enhver t -verdi.

$$34) SDC^e = \frac{\delta N^2}{2s}$$

De private kostnadene er representert av likning (5). Fra (5) er det kjent at i \tilde{t} er SDC^e lik null.

$$35) C(\tilde{t}) = \alpha T^v(\tilde{t}) + \alpha T^f = \alpha \left(\frac{\beta - \gamma}{\alpha \beta + \gamma} \right) \frac{N}{s} + \alpha T^f$$

Multipliserer variable private reisekostnader med antall individer for å få de totale variable reisekostnadene

$$36) TVC^e = \delta \frac{N^2}{s}$$

Uten rushtidsavgift vil prisen være lik private kostnader.

$$37) p^e = C^e$$

Likningene (35) og (37) gir prisen uten rushtidsavgift

$$38) p^e = \frac{TC}{N} = \frac{\delta N}{s} + \alpha T^f.$$

Marginal sosial kostnad:

$$MSC^e = \frac{\partial TVC^e}{\partial N} = \frac{2\delta N}{s}$$

Individene tilpasser seg etter når de andre drar. Marginal sosial kostnad utformes etter individene har bestemt seg for avreise tidspunkt. Dette gjør at marginale sosiale kostnader er uavhengig av avreisetid.

4.4.2 Totale kostnader med rushtidsavgift

Kostnaden ved å dra i tidspunktet t_0 endres ikke med en rushtidsavgift.

$$39) SDC^o(t_0) = SDC^e(t_0) = \frac{\delta N^2}{2s}$$

Avreise i \tilde{t} gir $SDC^o(\tilde{t}) = 0$. Kostnadene ved å dra i \tilde{t} og t_0 er like. Kostnadene ved å reise i \tilde{t} består av bomavgiften. Bomavgiften er lik $SDC^o(t_0)$. Et optimalt avgiftssystem gir ingen kø, og de variable reisetidskostnadene er null.

$$40) TVC^o = \frac{\delta N^2}{2s} = SDC^o(t_0)$$

Bomavgiften i \tilde{t} representerer hele utlegget for bilisten. Individene som reiser før og etter dette tidspunktet får en lavere avgift, siden de allerede betaler en kostnad ved å

komme tidlig eller sent på jobb. Individene blir kompensert for denne kostnaden ved å betale en lavere bomavgift.

Prisen for konsumentene er summen av de private kostnadene og bomavgiftene. Private kostnader representeres kun av kostnaden ved ikke å komme for tidlig eller sent på jobb. Individene uten disse kostnadene pålegges en bomavgift.

$$41) p^o = Q(t) + SDC^o$$

De sosiale marginale kostnadene fås ved å derivere de variable totale kostnadene med hensyn på antall individer

$$42) MSC^o = \frac{\partial TVC^o(t)}{\partial N} = \frac{\delta N}{s}$$

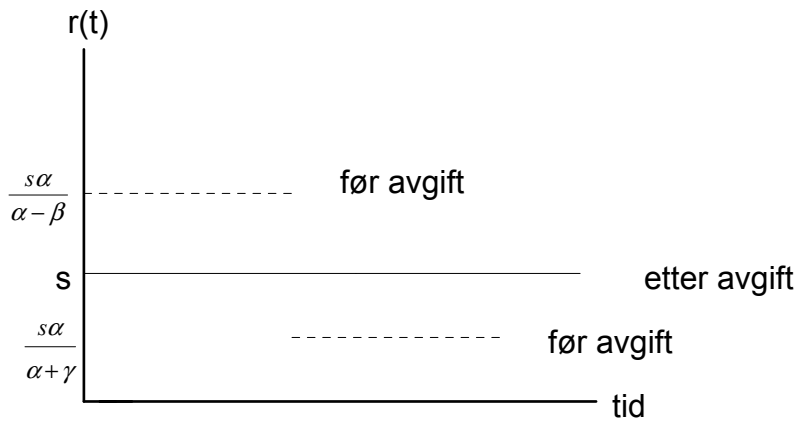
De sosiale marginale kostnadene er redusert sammenliknet med tilfellet uten rushtidsavgift. Veiene brukes mer effektivt. Avgiften gir en ekstra inntekt til staten som kan brukes på omfordeling av ressurser slik at de brukes mer effektivt. Bilisten betaler for den eksterne kostnaden. Individene som drar ved t_0 eller t_1 påfører ingen eksterne kostnader via kø. Individene betaler alt selv via kostnaden ved ikke å komme presis på jobb, en avgift eller en blanding. Avgiften representerer den eksterne kostnaden dersom den ikke betales personlig ved å dra i begynnelsen eller slutten av rushtiden. Den eksterne kostnaden (EK) er lik de marginale sosiale kostnadene.

$$43) EK = SDC(t) + Q(t) = MSC^o$$

Avreisefunksjonen er kjent fra (2) og (3), $r(t) = \frac{dT^v}{dt} s + s$. En optimal avgift, gir ingen kø. Kapasiteten per tidsenhet, s , er lik antall individer som passerer krysset per tidsenhet, $r(t)$, når en optimal rushtidsavgift er innført. Rushtidsavgiften reduserer antall individer som ankommer krysset samtidig. Uten rushtidsavgift må individene

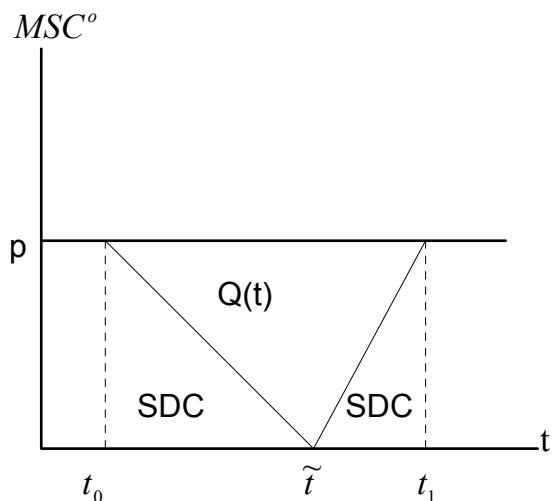
dra før grunnet kø. Antall individer som passerer krysset per tidsenhet er illustrert

nedenfor, hvor $\frac{s\alpha}{\alpha-\beta} > s > \frac{s\alpha}{\alpha+\gamma}$.



De stiplede linjene viser tilfellet uten rushtidsavgift. Den heltrukne linjen viser tilfellet med rushtidsavgift.

Effektivitet krever at hver reisende betaler marginal sosial kostnad. Uten kø vil individet som ankommer til riktig tid ha reisekostnad lik null. For å oppnå effektivitet må individet betale en avgift lik $Q(\tilde{t})$. Individene som kommer først eller sist i rushtiden utsettes for denne kostnaden via $SDC^o(t_0) = SDC^o(t_1)$. Den eksterne kostnaden er betalt i enten ulempe av ikke å komme på riktig tid til jobb, et pengebeløp via rushtidsavgift, eller en blanding.



Gjennomsnittlig skatt skal i optimum være lik gjennomsnittlig reisekostnad.

Likevekten i modellen oppnås når kølengden over tid er slik at ingen sjåfør kan redusere kjørekostnadene for turen ved å endre avreisetid.

En variabel rushtidsavgift priser den eksterne kostnaden av å stå i kø. Innfører en miljøavgift for å prise eksterne kostnader ved bilkjøring som støy, ulykker og slitasje på veier etc. Det følger av en miljøavgift at det alltid er en fast avgift, $q > 0$, i tillegg til en høyere avgift under rushtiden. Med en fast avgift vil de faste kostnadene øke, mens de variable kostnadene blir som i tilfellet over, med rushtidsavgift og $q = 0$.

Prisene øker med et fast konstantledd. Prisen blir høyere i begynnelsen og slutten av rushtiden.

$$44) p^m(t_0) = p^o(t_0) + q > p^e(t_0)$$

Toppskrift m definerer likevekt inkludert eksterne kostnader for miljø.

5. Eksterne miljøkostnader

5.1 Innfører eksterne miljøkostnader

Ved å prise de eksterne kostnadene for miljøet utenom kø, må den faste avgiften være større enn null, $q > 0$. Dersom individene ikke har noe alternativ til å kjøre, vil ikke den økte avgiften påvirke individenes adferd. De er uansett nødt til å kjøre til jobb. Offentlig transport innføres i modellen som et alternativ til å kjøre bil.

N er en funksjon av q . Dyrere fast bomavgift gir færre incentiver til å kjøre. Prisen for kollektiv transport, ϕ , er eksogent gitt. Kollektivtrafikken er satt opp som et alternativ til bilistene slik at rushtidsavgiften skal gi noen effekt. Antar at $\phi(t) = \phi$ for alle t . Forutsetningen om homogene individer medfører at prisen på å kjøre kollektivt er lik prisen på å kjøre bil. Kollektivprisen er lik summen av de marginale sosiale kostnadene (MSC^o), fast bomavgift og faste kostnader med å kjøre bil.

$$45) q + \delta \frac{N(q)}{s} + \alpha T^f = \phi$$

Løser ut for N

$$46) N(q) = \frac{(\phi - \alpha T^f - q)s}{\delta}$$

Etterspørselen av å kjøre bil er fallende i den faste avgiften q og økende i prisen på kollektiv transport. Etterspørselen for å kjøre bil er endogent gitt, og avhenger av avgiften, q .

$$47) N = N(q), \frac{dN}{dq} < 0$$

Innføringen av avgiften vil gi en ren Pareto forbedring. Konsumentene var i utgangspunktet indifferente om når de skulle dra, og er det fortsatt. Samtidig gir

avgiften økte inntekter til staten som de kan bruke på forbedringer for individene. Med denne omfordelingen vil ingen komme dårligere ut, men noen kommer bedre ut.

Definerer μ som den marginale miljøskaden ved å kjøre. Produktet av tiden i bil før individene ankommer flaskehalsen, antall individer som kjører og den marginale skaden bilkjøring påfører miljøet gir den eksterne miljøkostnaden, E .

$$48) E = NT^f \mu$$

Marginale sosiale miljøkostnader bilføring påfører samfunnet fås ved å derivere den eksterne miljøkostnaden med hensyn på antall individer

$$\frac{\partial E}{\partial N} = T^f \mu$$

Den marginale kostnaden skal settes lik miljøavgiften, q .

$$q = T^f \mu$$

Ved å prise den marginale eksterne miljøkostnaden blir individene oppmerksomme på kostnaden de påfører samfunnet i tillegg til den økonomiske belastningen.

6. Modell med empiriske tall for Oslo

Ved å anslå de eksterne kostnadene ved bilkjøring kan det estimeres bomavgifter som samsvarer med modellen. Eksterne miljøkostnader ved bilkjøring er anslått i NOU 2007:8. NOU-rapporten måler de eksterne kostnadene pr antall liter utslipp. For å finne den optimale variable avgiften ($Q(t)$) og den faste avgiften (q) i oppgaven, omgjøres tallene fra NOU rapporten til antall liter utslipp per bopassering som måleenhet. NOU 2007:8 opererer med en fast kostnad over tid, mens oppgaven vurderer en variabel avgift over tid. Forutsetter at de estimerte tallene fra tabell 1 og 2 nedenfor er den gjennomsnittlige kostnaden for utslipp. Gjennomsnittlig kostnad for utslipp tilsvarer den gjennomsnittlige avgiften.

Tabellene nedenfor er hentet fra NOU 2007:8. Resultatene viser at de eksterne marginale kostnadene knyttet til lokale utslipp, støy, kø, ulykker og veislitasje ved bruk av bensindrevne personbiler i gjennomsnitt ligger noe høyere enn bensinavgiften. For dieseldrevne personbiler og godsbiler er de gjennomsnittlige eksterne marginale kostnadene vesentlig høyere enn autodieselavgiften.

Tabell 1 Eksterne marginale kostnader ved dieseldrevne personbiler (kroner pr. liter drivstoff)

	Lokale utslipp	Støy	Kø	Ulykker	Slitasje	Sum
Storbyer	6,42	4,44	16,09	3,01	0,02	29,98
Øvrige tettsteder	2,05	4,44	0,00	3,01	0,02	9,51
Spredtbygde strøk	0,12	0,00	0,00	3,56	0,02	3,78
Landsgjennomsnitt	0,96	1,17	1,35	3,05	0,02	6,55

Kilde: ECON (2003) og Finansdepartementet.

Tabell 2 Eksterne marginale kostnader ved bensindrevne personbiler (kroner pr. liter drivstoff)

	Lokale utslipp	Støy	Kø	Ulykker	Slitasje	Sum
Storbyer	0,62	2,98	10,85	2,02	0,01	16,48
Øvrige tettsteder	0,39	2,98	0,00	2,02	0,01	5,40
Spredtbygde strøk	0,25	0,00	0,00	3,22	0,02	3,49
Landsgjennomsnitt	0,29	0,95	1,09	2,47	0,02	4,82

Kilde: ECON (2003) og Finansdepartementet.

Hva slags type drivstoff som gir minst skade er usikkert. Statens forurensingstilsyn (SFT) har gjort beregninger som viser at nye dieslbiler foretrekkes fremfor nye bensinbiler. Dette samsvarer ikke med tabellene fra NOU rapporten. SFT har sammenlignet miljø- og helseulempen ved CO_2 og NO_2 fra eksos. Bensinbilene slipper ut 25 prosent mer CO_2 enn tilsvarende dieslbiler. Likevel viser beregningene fra SFT at de lokale utslippene for dieslbiler er større enn bensinbilene. (SFT, 22/9-2008). Dette samsvarer med tabellene over. Beregningene videre i oppgaven er basert på NOU 2007:8.

Kostnadene ved å kjøre dieslbiler i storbyer er mye høyere enn kostnadene ved å kjøre bensinbiler i storbyer. Dieslbiler kjører lenger distanse per liter utslipp. Det er ikke naturlig å tro at alle dieslbiler har lenger vei til jobb. Det forutsettes i videre beregninger at dieslbiler bruker litt mindre enn en liter diesel per bompassering. Bensinbiler slipper ut en liter bensin per bompassering. Køkostnadene for

dieselbilene er derfor mindre enn i tabell 1. Køkostnadene for dieselbilene divideres med køkostnadene for bensinbiler. Dette gir $\sigma = \frac{16,09}{10,85} = 1,48$. Dieselkostnadene i resten av oppgaven divideres med σ .

Differansen mellom storbyer og spredtbygde strøk for lokale utslipp, støy, ulykker og veislitasje gir den faste avgiften, q . Dette gir de særegne kostnadene ved å kjøre bil i byen. Øvrige kostnader og CO_2 utslipp vil være fanget opp av drivstoffprisen.

Følgende tabell viser utregninger for den faste avgiften, q , med målestokk antall liter utslipp per bompassering.

Bensinbiler	Lokale utslipp	støy	ulykker	slitasje	Sum
Storbyer	0,62	2,98	2,02	0,01	5,63
Spredtbygde strøk	0,25	0	3,22	0,02	3,49
q	0,37	2,98	-1,2	-0,01	2,14

Dieselbiler	Lokale utslipp	støy	ulykker	slitasje	Sum
Storbyer	6,42	4,44	3,01	0,02	13,89
Spredtbygde strøk	0,12	0	3,56	0,02	3,7
Særegne kostnader i by	6,3	4,44	-0,55	0	10,19
q	4,25	2,99	(0,37)	0	6,87

Estimerer en bomavgift som er lik for både dieselbiler og bensinbiler. Kostnadene for de ulike typene vektlegges etter hvor stor andel det er av hver type. Data fra Statens vegvesen viser hvor mange personbiler det finnes i Oslo. Det er delt opp i bensinbiler

og annet. Annet defineres her som dieslbiler, siden andre eventuelle drivstoff er av så liten betydning. Resultatene gir 22 prosent dieslbiler og 78 prosent bensinbiler i Oslo. Den veide faste kostnaden, q , gir

$$49) q = 0,22 * 6,87 + 0,78 * 2,14 = 3,18$$

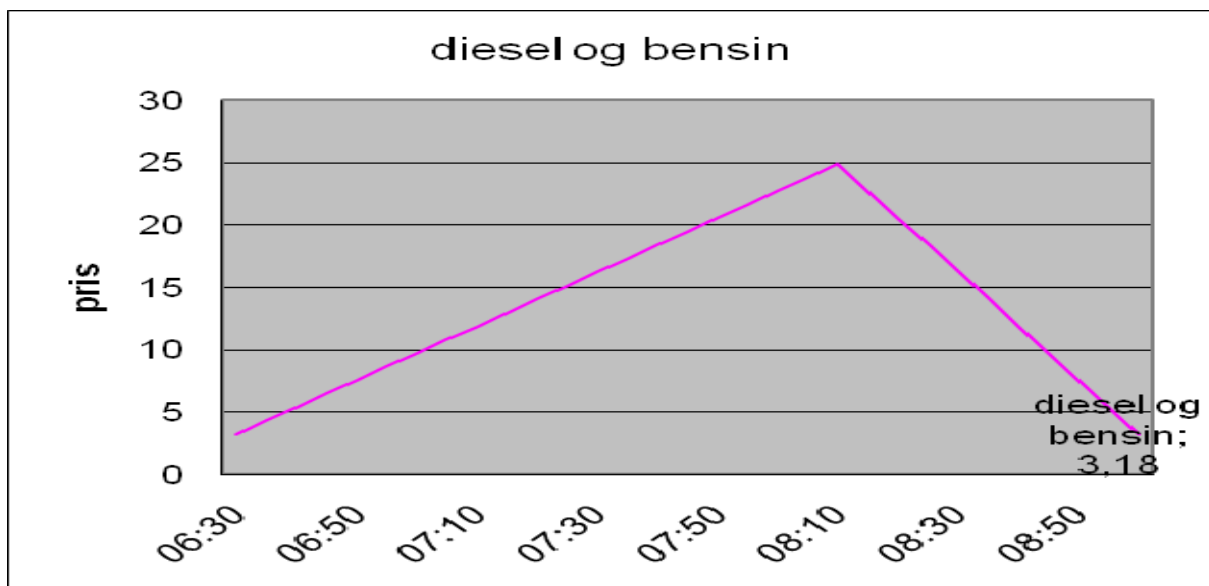
Forutsetter først at en personbil kjører en lengde tilsvarende 1 liter bensin pr bomtur. Det vil si at den gjennomsnittlige køkostnaden, k , for en bil vil være (jf tabellene over)

$$50) k = 10,85 * 0,78 + 10,87 * 0,22 = 10,85$$

Kostnadene i tidspunkt \tilde{t} består kun av bomavgiften, og gir toppavgiften, $Q(\tilde{t}) = 10,85 * 2 = 21,71$.

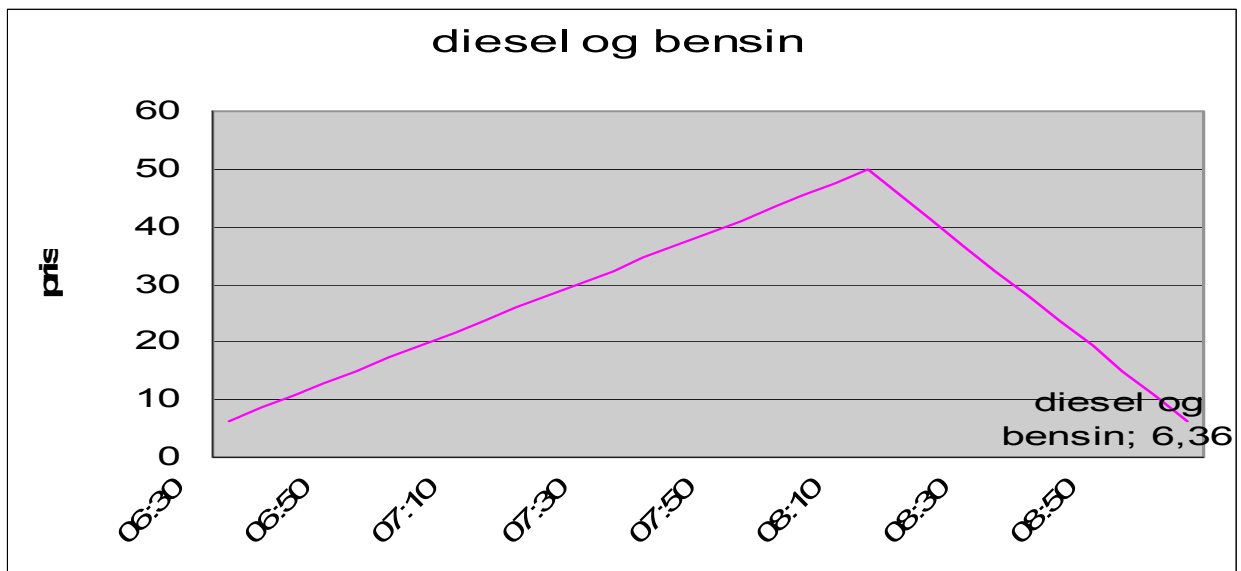
Med utgangspunkt i modellen fra kapittel 3 og 4, anslås det i oppgaven at 08:10 er tidspunktet man kommer presis på jobb. Ved å anta at rushtiden varer fra 06:30 til 09:00, vil stigningstallene for grafene nedenfor bli 0.05 og 0.1.

Ved å innføre en fast avgift ($q > 0$), samt et variabelt avgiftssystem gjennom døgnet blir resultatene



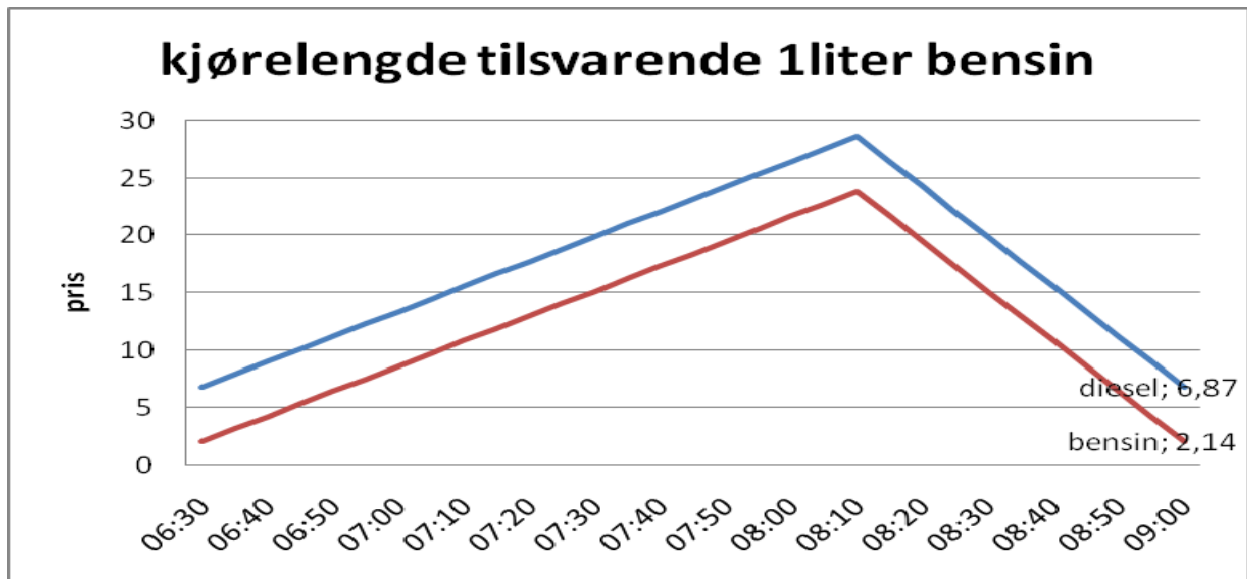
Toppavgiften vil være lik 24,89.

Avgiften per bompassering skal tilsvare kjøreturen frem og tilbake til jobb. Det vil være naturlig å forutsette at bilene kjører en lengde tilsvarende 2 liter utslipp pr bompassering. Resultatene blir gir en toppavgift på 49,78 kr.

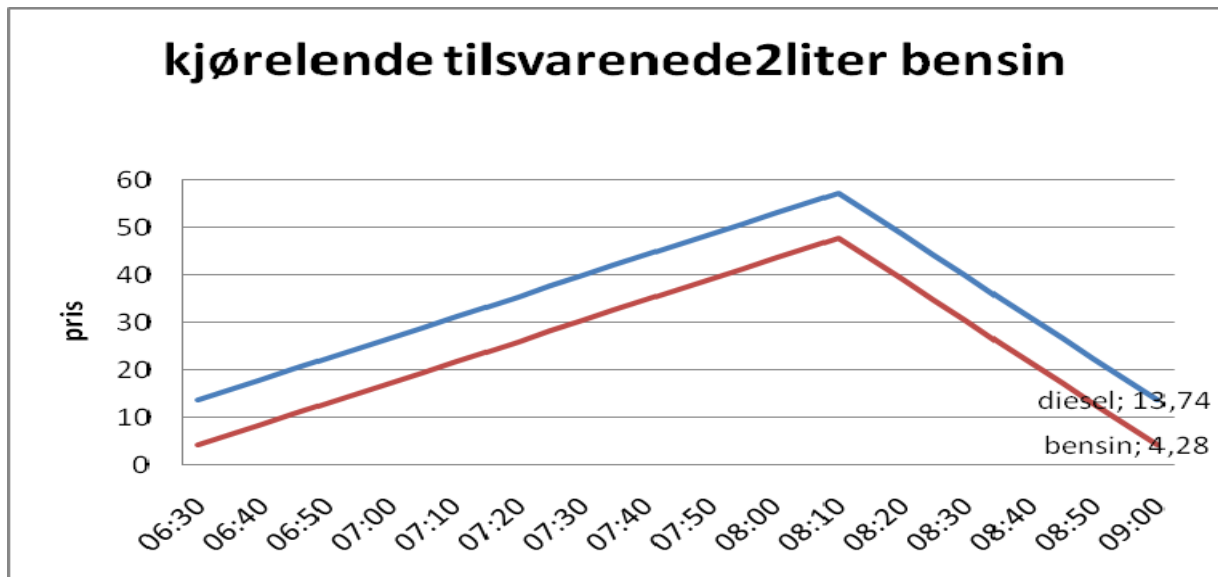


De anslåtte eksterne kostnadene for bensinbiler og dieselbiler er ulike. Kanskje er det optimalt å sette ulik bomavgift for de ulike drivstoffbilene. Dagens drivstoffpriser er likere, men det har lenge vært relativt stor forskjell.

Ved å skille de to tilfellene blir resultatene for 1 liter utslipp følgende



En toppavgift for bensinbiler er her 23,84 kr mens toppavgiften for dieslbiler er 28,57 kr. Med samme fremgangsmåte blir avgiftene for dieslbiler og bensinbiler som med kjørelengde tilsvarende 2 liter drivstoff per bopassering som vist i figuren under.



Toppavgiften for bensinbiler er 47,68 kr, og toppavgiften for dieslbiler er 57,14 kr.

Gevinsten ved å skille avgiftene for bensinbiler og dieslbiler er ikke veldig store. Skillet mellom den faste kostnaden er likevel ganske stor med kjørelengde tilsvarende to liter bensin. Dersom kjørelengden til de fleste bilistene tilsvarer to liter utslipp per bompasseing, ligger dagens avgifter langt under de reelle kostnadene i rushtiden.

7. Samspill kø og miljøekstern kostnad

Ved å sammenligne modellen som er brukt i oppgaven, med andre modeller for veipricing, vil det kunne observeres særegne effekter av modellen. Johansson-Stenman (2006) ser på samspillet mellom kø og miljøeksterne kostnader mens Arnott m fl (1993) ser hovedsakelig på den eksterne miljøkostnaden ved kø.

Johansson-Stenman (2006) regner ut den optimale veiprisen til å avhenge av fem ulike faktorer. Den første er tidskostnaden hvert individ påfører andre individ på marginen. Den andre faktoren reflekterer andres økte private kostnader per kilometer ved å stå i kø. Den tredje faktoren reflekterer den marginale skaden av forurensing fra hver bil pr distanseenhet. Den fjerde faktoren reflekterer at hver bil vil være mer forurensende for hver ekstra kilometer de kjører i kø. Den femte faktoren vil på samme måte som fjerde faktor representere den økte opphopingen på veiene. Effektene er den reduserte farten, skaden lokalbefolkningen utsettes for av forurensingen, og at hver bilist sitt utslipp gir mer skade.

I Arnott m fl (1993) vil ikke problemet med kø og ekstra forurensing oppstå, siden den optimale avgiften ikke gir kø. Faktorene en, to, fire og fem er allerede tatt hensyn til via å innføre den optimale avgiften slik at kø forsvinner. Marginal forurensing fra hver bil per distanse enhet representerer eksterne kostnader utenom kø. Faktor tre i Johansson-Stenman (2006) er dekket i modellen gjennom den faste kostnaden, $q > 0$.

8. Konklusjon

Oppgaven viser de samfunnsøkonomiske gevinstene ved å innføre rushtidsavgift. Jeg har utviklet en eksplisitt matematisk modell basert på økonomisk teori. Modellen (4) er basert på Vickrey (1963) og Arnott m fl (1993). Jeg har videreutviklet modellen (5) til eksterne miljøkostnader. Videre har jeg konkretisert en eksplisitt modell med empiriske tall for Oslo (6).

Først presenteres "4.1 Generell modell", som en kontinuerlig modell over døgnet. Det fokuseres på mange individer som bruker bil til jobb. Reisetiden kan gi kø, slik som bomringen i Oslo. I "4.2 Likevekt uten rushtidsavgift" gjennomføres en rekke matematiske analyser av modellen.

I "4.3 Likevekt med rushtidsavgift" vises det at det finnes en optimal pris på rushtiden. Her er antall individer som ankommer flaskehalsen per tidsenhet lik kapasiteten per tidsenhet. Det følger av den matematiske modellen, at antall biler gjennom bomringen er konstant per tidsenhet, både med og uten rushtidsavgift. En versjon fra morgenrushet går fra null rush kl. 6.30 hvor den stadig øker frem til kl 8.10. Deretter avtar rushtiden ned til kl. 9.00.

Modellen har enkle forutsetninger. I praksis vil det nok alltid være noe rushtid i Oslo. Det vil være vanskelig å anslå akkurat hvor mange individer som ankommer bommene per tidsenhet i forhold til kapasiteten per tidsenhet. Innføringen av rushtidsavgift kan gi mye kortere rushtid i Oslo. Etter min vurdering kan en slik modell forbedres på en rekke relevante måter. Spesielt kan det forutsettes heterogene individer i stedet for homogene individer. En praktisk modell kan gjennomføres ganske fort. Det er ikke nødvendig å bruke nye 45 år etter at William Vickrey brukte den grunnleggende ideen om rushtidsavgift fra 1963.

Den matematiske modellen for rushtidsavgift i Oslo er meget relevant for miljøøkonomi. Optimal bruk innebærer økt pris i bomringen i Oslo rundt 8-tiden og rundt 16-tiden. Rushtidsavgiften gir tidsgevinster og miljøgevinster. Disse gevinstene representeres av den variable avgiften som innføres i rushtiden. Det eksisterer

miljøkostnader utenom kostnadene kø innebærer. Disse miljøkostnadene representeres av den faste avgiften i modellen. Resultatene viser at den faste avgiften er veldig lav i forhold til rushtidsavgiften. Dette tyder på at kø påfører samfunnet større eksterne kostnader enn miljøkostnaden utenom kø.

Resultatene tyder på at det viktigste er å innføre en variabel rushtidsavgift. Utenom rushtiden viker det rimelig å sette ned prisen. Dette har miljøgevinster som ikke er anslått i modellen ved at de variable tidskostnadene er null, $T^v(t) = 0$, og dermed ikke gir noe utslipp fra biler i kø. Oppgaven er basert på tall for eksterne kostnader ved bilkjøring, og det er vanskelig å se hva som ville endre konklusjonen gitt tallene fra finansdepartementet.

Referanser

Algers m fl (2007), "Stockholmsförsöket- hur gick det?"

<http://www.stockholmsforsoket.se/upload/Rapporter/Analysgruppens%20pres%2016%20aug.pdf>, lastet ned 22/10-08

Arnott, Richard, André de Palma og Robin Lidsay (Mars 1993); "A Structural Model of Peak-Period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand". The American Economic Review.

ECON (2003): Eksterne marginale kostnader ved transport, Rapport 2003-054, ECON Analyse, Oslo.

Finansdepartementet (2003): Bilavgifter. Rapport fra en arbeidsgruppe. Avgitt til finansdepartementet 30. april 2003.

Finansdepartementet(2008): "særavgifter",

<http://www.regjeringen.no/nb/dep/fin/tema/andre/Saravgifter.html?id=447103>, lastet ned 15/9-2008.

Johansson-Stenman, Olof (2006) "Optimal environmental pricing". Economics Letters 90.

NOU 1996:9" Grønne skatter - en politikk for bedre miljø og sysselsetting"

NOU 2007:8 " En vurdering av særavgiftene"

Røed Larsen, Erling (2007) "Økonomi på trikken", Gyldendal Norsk Forlag AS

SFT(22/9-2008), "større miljøkostnader fra nye bensinbiler enn nye dielselbiler"

http://www.sft.no/artikkel_43080.aspx, lastet ned 22/10-08

Varian, Hal (1992): "Microeconomic Analysis Third edition", University of Michigan

Vickrey, William (1963) "Pricing in Urban and Suburban Transport". The American Economic Review.

Vickrey, William (1969) "Congestion Theory and Transport Investment". The American Economic Review.

Vingan, Anita, Lasse Fridstrøm og Kjell Werner Johansen (2007): "Køprising I Bergen og Trondhjem - ett alternativ på 20 års sikt?", TØI rapport 895/2007, <http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%20D8I%20rapporter/2007/895-2007/895-2007-elektronisk.pdf>

