

concept

Kåre Petter Hagen
Karl Rolf Pedersen

Brukeravgifter i veisektoren

Concept rapport Nr. 42



t
o
e
c
n
o
c

Kåre Petter Hagen
Karl Rolf Pedersen

Brukeravgifter i veisektoren

Concept rapport Nr. 42

Concept-rapport nr. 42

Brukeravgifter i veisektoren

Kåre P. Hagen
Norges Handelshøyskole

Karl R. Pedersen
Norges Handelshøyskole

ISSN: 0803-9763 (papirversjon)

ISSN: 0804-5585 (nettversjon)

ISBN: 978-82-93253-37-2 (papirversjon)

ISBN: 978-82-93253-38-9 (nettversjon)

RETTIGHETSHAVER

© Forskningsprogrammet Concept

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

SAMMENDRAG: Denne rapporten studerer brukravgifter i veisektoren fra et teoretisk perspektiv. Rapporten er todelt: Del I gir en innføring i velferdsteoretiske prinsipper for optimale brukravgifter som finansieringskilde i samferdssektoren i en situasjon hvor også generell skattefinansiering medfører uheldige vridninger og effektivitetstap. Del II dreier seg om brukravgifter i situasjoner preget av kødannelser.

DATO: Desember 2014

UTGIVER

Ex ante akademisk forlag

Concept-programmet

Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet

7491 NTNU – Trondheim

www.ntnu.no/concept/

Ansvar for informasjonen i rapportene som produseres på oppdrag fra Concept-programmet ligger hos oppdragstaker. Synspunkter og konklusjoner står for forfatternes regning og er ikke nødvendigvis sammenfallende med Concept-programmets syn. Concept-rapportserie er godkjent som vitenskapelig publiseringskanal på Nivå 1. Alle bidrag kvalitetssikres av uavhengige fagfeller.

Concept-rapportserien

Forskningsprogrammet Concept er forankret ved NTNU og arbeider med forskning knyttet til utviklingen og kvalitetssikringen av store investeringsprosjekter i Norge. Dette er tverrfaglig forskning innenfor fagområdene prosjektledelse, offentlig finansiering, statsvitenskap, samfunnsøkonomisk analyse og evaluering. Rapportserien presenterer forskningsresultater på programmets fagområder og er godkjent som vitenskapelig publiseringskanal på nivå 1. Målgruppen omfatter primært forskere på respektive fagområder og fagpersoner i offentlig forvaltning og utredningsmiljøer.

Redaksjon

Knut Samset, professor, NTNU, redaktør
Gro Holst Volden, forskningssjef Concept
Morten Welde, forsker, NTNU

Redaksjonsråd

Tom Christensen, professor Universitetet i Oslo
Petter Næss, professor, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Nils Olsson, professor, NTNU
Ingeborg Rasmussen, daglig leder, Vista Analyse
Jørn Rattsø, professor, NTNU
Tore Sager, professor, NTNU
Arvid Strand, forsker 1, Transportøkonomisk institutt
Heidi Ulstein, partner, Menon Business Economics
Vibeke Binz Vallevik, gruppeleder, DnV
Bjørn Otto Elvenes, førsteamanuensis, NTNU

Forord

Hvordan bør bompengerordninger innrettes for å sikre høyest mulig samfunnsøkonomisk lønnsomhet av veiinvesteringer? Dette er et aktuelt tema, men samtidig komplekst og teoretisk nokså krevende. Vi er ikke kjent med at det finnes gode oversiktsartikler eller lærebøker som tar for seg akkurat dette temaet på en grundig måte.

Utgangspunktet er at brukerbetaling normalt fører til mindre bruk av veien og dermed redusert samfunnsøkonomisk nytte av investeringen. Men heller ikke finansiering ved generelle skatter og avgifter er uproblematisk, tvert imot medfører de fleste skatter og avgifter vridninger og effektivitetstap i økonomien. Dessuten er det effektivt at bilistene betaler for sitt bidrag til slitasje på veien samt negative eksterne virkninger. Én slik negativ ekstern virkning, som kan være betydelig, særlig i byområder og i rushtrafikken, er den enkelte bilists bidrag til kødannelse.

Slike forhold må vurderes og veies sammen i et konkret prosjekt for å avgjøre om brukerbetaling er effektivt og i så fall hvilke satser og innretning for øvrig som er optimalt. (Et helt annet poeng er at krav til medfinansiering fra brukere kan redusere problemet med perverse insentiver.) Men dette er tema i Concept-rapport nr. 40 og diskuteres ikke her.

På oppdrag fra Concept-programmet har to av Norges fremste fagpersoner på området, Kåre P. Hagen og Karl R. Pedersen fra Norges Handelshøyskole, studert spørsmålet om samfunnsøkonomisk optimale brukeravgifter i veisektoren fra et teoretisk perspektiv. Rapporten er todelt og gir både en innføring i generelle velferdsteoretiske prinsipper, og en oversikt over nyere, sentrale bidrag fra den internasjonale litteraturen, som særlig tar utgangspunkt i kødannelse og kostnadene ved dette.

En referansegruppe bestående av Morten Welde fra NTNU og Arnt-Gunnar Lium fra SINTEF har gitt innspill i prosessen

Trondheim, desember 2014

Knut Samset

Programansvarlig, Concept-programmet, NTNU Trondheim

Innhold

SAMMENDRAG	5
DET TRADISJONELLE ARGUMENTET	5
BOMAVGIFTER SOM FINANSIERINGSKILDE – NÅR SKATTEFINANSIERING GIR EFFEKTIVITETSTAP	6
BOMAVGIFTER VED KØDANNELSE	7
SUMMARY	9
THE TRADITIONAL ARGUMENT	9
TOLLS AS A SOURCE OF FINANCE – WHEN TAXATION LEADS TO AN EFFICIENCY LOSS.....	10
TOLLS IN CONGESTED CONDITIONS.....	11
1 INNLEDNING	13
2 DEL I BOMAVGIFTER SOM FINANSIERINGS-KILDE	15
2.1 INNLEDNING.....	15
2.2 OPTIMAL BOMAVGIFT: ET ILLUSTRERENDE EKSEMPEL	15
TRAFIKKGRUNNLAG	16
AVGIFTSSTRATEGIER	17
KONSUMENTOVERSKUDD/BRUKEROVERSKUDD	19
PRODUSENTOVERSKUDD/OPERATØROVERSKUDD	19
SAMFUNNSØKONOMISK OVERSKUDD/NETTONYTTEN	20
2.3 OPTIMAL BOMAVGIFT. EN ANALYTISK LØSNING	21
COST OF FUNDS (CF) OG BETYDNINGEN AV DEN	22
KOSTNADENES BETYDNING FOR DEN OPTIMALE BOMAVGIFTEN	23
NÅVERDIEN.....	24
2.4 NULLALTERNATIVETS BETYDNING.....	26
2.5 EKSTERNE VIRKNINGER	27
LOKAL FORURENSING	27
RINGVIRKNINGER/MERNYTTEN.....	28
FORURENSING	29
RINGVIRKNINGER	30
2.6 FORDELING	30
REFERANSER	32
VEDLEGG 1: EFFEKTIVITETSTAP.....	32
VEDLEGG 2: ELASTISITETENES BETYDNING.....	33
VEDLEGG 3: FORDELINGSVEKTER	34
3 DEL II BOMAVGIFTER VED KØDANNELSER (VEIPRISING).....	36

3.1	INNLEDNING.....	36
3.2	NEST-BEST VEIPRISING I TRANSPORTNETTVERK MED KØER: ET EKSEMPEL MED TO ALTERNATIVE RUTER MELLOM TO STEDER	38
3.3	KØER OG OPTIMALE BOMAVGIFTER: EKSEMPEL MED TO RUTER MED ENDOGEN VEIKAPASITET OG SOM ER IMPERFEKTE SUBSTITUTTER.....	42
3.4	GENERALISERING AV MOHRING-HARVITZ RESULTATET OM KØ-PRISING OG SELVFINANSIERENDE VEIPROSJEKTER.....	49
	ULIKE TRAFIKANTENE HAR FORSKJELLIG VERDSETTING AV TID.....	49
	VARIERENDE ETTERSØRSEL OVER TID.....	50
3.5	UDELELIGHET OG IKKE-KONSTANT SKALAUTBYTTE	50
3.6	OPTIMAL KØ-PRISING MED AGGLOMERASJONGEVINSTER FRA VEIINVESTINGER	51
	REFERANSER.....	56
4	KONKLUSJON	58

Sammendrag

All aktivitet i samferdselssektoren bygger på en underliggende infrastruktur – et nettverk av veier, flyplasser, jernbanespor, havner osv. Investeringskostnaden knyttet til infrastrukturen, sammen med utgifter til drift og vedlikehold, må finansieres på en eller annen måte, av skattebetalerne eller brukerne.

Med utgangspunkt i samfunnsøkonomisk velferdsteori, hvilke argumenter finnes for å pålegge trafikantene en avgift for bruk av infrastrukturen? I rapporten ser vi primært på *finansieringsargumentet* (del I) når alternativet er skattefinansiering og beskatning gir effektivitetstap, og *ko-argumentet* (del II) når trafikken er så stor at det oppstår trengsel. Men som en introduksjon ser vi også på mer tradisjonelle argumenter – i en situasjon hvor det er mulig å finansiere infrastrukturen gjennom ikke-vridende beskatning, og trafikken er så liten at det ikke oppstår trengsel.

Vi bruker veisektoren som utgangspunkt, men resonnementene gjelder i stor grad for annen type infrastruktur også.

Det tradisjonelle argumentet

Eventuelle brukeravgifter må begrunnes i kostnader knyttet til *bruk* av infrastrukturen, marginalkostnadene. Den optimale avgiften vil være den som sikrer at brukernes marginale betalingsvillighet blir lik marginalkostnaden, sett fra samfunnets side.

Det er i prinsippet tre typer brukeravhengige kostnader (altså marginalkostnader):

- Den første og som regel viktigste typen (i hvert fall i veisektoren) er brukernes direkte kostnad knyttet til tidsbruk, drivstoff, kjøretøyslitasje etc. Denne kostnaden dekkes av brukerne selv. Den er dermed internalisert og hensyntatt av dem; den er ikke noe argument for en ekstra avgift.
- Den andre typen brukeravhengig kostnad er slitasje på infrastrukturen, som gir opphav til en brukeravhengig vedlikeholdskostnad. Denne internaliseres ikke uten videre av brukerne, og det taler for å innføre en avgift.
- Den tredje typen brukeravhengig kostnad knyttes til negative eksterne virkninger som for eksempel støy og forurensing. Igjen er det slik at for å få brukerne til å internalisere kostnaden, vil brukeravgift være et fornuftig virkemiddel.

Dette kan illustreres med et enkelt eksempel. En vurderer å bygge ei bru over en fjord, til erstatning for en mer kronglete vei rundt fjorden. Dagens trafikk er 2 000 kjøretøyer per dag, og samlet brukerkostnad (tidsbruk, drivstoff, kjøretøyslitasje, etc.) er 120 kr hver vei, hvor tidskostnadene utgjør en stor komponent. Med ny bru vil bilistene spare mye tid. Vi kjenner etterspørselsfunksjonen til bilistene, og vi vet derfor at ved gratis kjøring på den nye brua vil brukerkostnadene bli kun 60 kr og trafikken øker til 2 600 kjøretøy per dag.

Vi antar imidlertid at hver bil fører til veislitasje tilsvarende 3,33 kr per tur. Det tilsier at det bør kreves inn en bomavgift på 3,33 kr. Om vi i tillegg antar at den støykostnaden som en trafikant påfører omgivelsene kan uttrykkes pengemessig som 10 kroner per tur, så øker den optimale bomavgiften til 13,33 kr, og samlet brukerkostnad blir 73,33 kr. Trafikken reduseres da til noe under 2 500 kjøretøy.

Brukeravgifter ut over det nivået som følger fra diskusjonen ovenfor, er imidlertid svært utbredt i samferdselssektoren i Norge, og i denne rapporten drøfter vi de to viktigste argumentene for dette.

Bomavgifter som finansieringskilde – når skattefinansiering gir effektivitetstap

Vi forutsatte over at det er mulig å finansiere infrastrukturen gjennom ikke-vridende beskatning. Men virkelige skattesystemer er vridende og påvirker ressursbruken i samfunnet på en uheldig måte. Det betyr at det å forsyne det offentlige med en skattekrone, koster samfunnet mer enn en krone. I Norge har Finansdepartementet bestemt at den gjennomsnittlige skattefinansieringskostnaden, som skal legges til grunn i samfunnsøkonomiske analyser, er 20 øre per krone.

Med dette utgangspunktet blir det naturlig å betrakte brua som en skattebase på lik linje med andre skattebaser og kreve inn en bomavgift som gir et positivt overskudd. Hver krone i overskudd fra bompengeneinnkrevningen reduserer nemlig behovet for å kreve inn andre skatter og avgifter. Men på den andre siden oppstår et effektivitetstap i det aktuelle trafikkmarkedet når det introduseres en «skattekil» mellom brukernes marginale betalingsvillighet og marginalkostnaden. Dette effektivitetstapet i trafikkmarkedet må således avveies mot effektivitetstapet i andre markeder som følge av generell beskatning.

I del I av rapporten beregnes den optimale bomavgiften som den avgiften som gir så høyt samfunnsøkonomisk overskudd som mulig. Det samfunnsøkonomiske overskuddet er summen av tre deler.

- Konsumentoverskuddet: Overskuddet for brukerne (trafikanter), definert ved summen av trafikantenes betalingsvillighet ut over den direkte brukerkostnaden.
- Produsentoverskuddet: Overskuddet for operatøren (som antas å ha ansvaret for både vedlikehold og bompengeskjeving). Dette overskuddet multipliseres med 1,2 siden det reduserer behovet for å kreve inn generelle skatter.
- Netto eksterne virkninger.

Når avgiften øker ut over det nivået som var optimalt uten vridende skatter, går konsumentoverskuddet ned, blant annet fordi noen nå vil la være å bruke veien. Produsentoverskuddet derimot vil øke når avgiften øker (så lenge den er lavere enn monopolprisen). Hva som skjer med netto eksterne virkninger, avhenger av om det er de positive eller de negative som dominerer.

Med utgangspunkt i det stiliserte eksemplet, kan det vises at med en skattefinansieringskostnad på 20 øre per krone, blir optimal brukeravgift 47 kr, mot kun 13,33 kr i tilfellet hvor det ikke er noen skattefinansieringskostnad. Det gir en samlet brukerkostnad på 107 kr. Antakelsen om at generelle skatter er vridende har således drastiske konsekvenser.

Fordelingsspørsmålet er neglisjert i fremstillingen ovenfor. Men det er i prinsippet mulig å ta fordelingshensyn inn i analysen. Jo rikere trafikantene som bruker den aktuelle veien er, sammenliknet med gjennomsnittsinntekten i samfunnet, jo høyere bør i så fall avgiften være.

Bomavgifter ved kødannelse

En kostnad som ofte har meget stor betydning for den direkte brukerkostnaden til bilistene er tid. Nettopp derfor er det svært relevant å spørre hvordan kødannelse og trengsel påvirker den optimale brukeravgiften.

I en situasjon med kødannelse, vil en ekstra bilist på veien bidra til økt trengsel, noe som innebærer at tidskostnaden øker for *alle* trafikantene. Dette er et spesialtilfelle av en negativ ekstern virkning. Når bilisten vurderer om han skal kjøre på veien, tar han nemlig bare hensyn til den *gjennomsnittlige* køkostnaden, som han selv opplever. Han tar derimot ikke hensyn til at fremkommeligheten blir enda litt dårligere for alle de eksisterende bilistene. For å sikre at han tar hensyn til det bør han belastes med en bomavgift tilsvarende differansen mellom den marginale køkostnaden og den gjennomsnittlige køkostnaden (som allerede er internalisert). Dette kommer da i tillegg til kostnaden av veislitasje og andre eksterne virkninger.

Rapporten diskuterer videre ulike tilfeller hvor den optimale avgiften ikke kan realiseres, og hvor en derfor må snakke om «nest-beste» avgift. Et eksempel på dette er når bomavgift kun kan innføres på enkelte veistrekninger som inngår i et nettverk. Da vil bilistene kunne velge andre kjøreruter som ikke er avgiftsbelagte. Denne type vridninger har både private og samfunnsøkonomiske kostnader, og er uheldig uansett hva som var motivet for å innføre avgiften. Den samfunnsøkonomiske nest-beste avgiften er derfor lavere enn den «første-beste» avgiften ville vært. I rapporten viser vi hvordan dette kan utledes.

Det gjøres også rede for et resultat som i litteraturen går under betegnelsen Mohring og Harwitz' teorem (1962). Teoremet sier at under visse betingelser kan en optimalt designet og optimalt priset vei generere bomavgifter som dekker investering og vedlikehold av infrastrukturen. Forutsetningene omfatter blant annet konstant skalautbytte med hensyn på investering i økt veikapasitet, mulighet til å variere veikapasiteten kontinuerlig, og uendrede brukerkostnader når veikapasitet og trafikk endres med samme faktor. Opprinnelig forutsatte teoremet også identiske bilister, men det er senere vist at det også gjelder der bilistene har ulik verdsetting av tid. Bomavgiften må da baseres på et veiet gjennomsnitt av ulike bilisters verdsetting av tid, der vektene er antall turer i perioden for dem som fortsatt bruker veien etter at bomavgiften er pålagt. Den optimale køprisen kan videre variere over døgnet, slik at de som reiser i rush-tiden vil måtte bære en større del av infrastrukturkostnadene.

Hittil har vi brukt eksempler hvor de eksterne virkningene (støy, miljø, kø, etc.) er negative, men veiinvesteringer kan også ha positive virkninger på resten av økonomien, som den enkelte bilist ikke tar hensyn til. En viktig kilde til slike er at reduserte kjøretider fører til større og tettere integrerte arbeidsmarkeder, som kan føre til økt arbeidsproduktivitet og verdiskaping. Økt arbeidspendling er således en indikasjon på en slik effekt. Dermed får vi to motstridende eksterne virkninger knyttet til økt trafikk. For det første har vi som tidligere en negativ virkning i form av økt kødannelse (og evt. andre negative eksterne virkninger), som trekker i retning av en brukeravgift som internaliserer køkostnaden. For det andre har vi en positive ekstern virkning av pendling i forhold til arbeidsmarkedet, som trekker i retning av subsidiering av reisingen mellom bo- og arbeidssted. Den optimale bomavgiften må ta hensyn til begge elementene.

Summary

All activities in the transport sector are based on infrastructure - a network of roads, airports, railways, ports etc. The investment cost of the infrastructure, together with the costs of operation and maintenance, must be financed in one way or another, by tax payers or by users.

Based on economic welfare theory, which arguments can be used to impose a fee on the motorists for the use of the infrastructure? In the report, we discuss the *financing argument* (Part I) when the alternative is tax funding, and taxation leads to an efficiency loss; and the *congestion argument* (Part II) when traffic exceeds capacity. As an introduction we also look at more traditional arguments - in a situation where it is possible to finance infrastructure through non-distortionary taxation, and traffic is within the limits of capacity so that there is no congestion.

We use the road sector as a starting point, but the arguments could be used for other types of infrastructure too.

The traditional argument

User fees must be justified by the *use* of the infrastructure – the marginal costs. The optimal fee is the one that ensures that the users' marginal willingness to pay equals the social marginal costs.

There are, in principle, three user-related costs (marginal costs):

- The first and usually most important cost (at least in the road sector) are the users' direct cost related to travel time, the costs of fuel, vehicle wear etc. These costs are covered by the users themselves. They are internalised by the users and provide no argument for an additional fee.
- The second category of costs is related to road wear, i.e. the costs of maintenance caused by extra traffic. These costs are not internalised by the users and they hence provides an argument for introducing a fee.
- The third category of costs is those associated with negative external effects such as noise and pollution. To make users internalise these costs, a fee might be justified.

This could be illustrated through an example. We are considering building a bridge over a fjord to replace a road around the fjord. On each side of the fjord there is a suburb and city respectively. Today's traffic is 2 000 vehicles per day, and the total user costs (travel time, fuel, vehicle deterioration etc.) are 120 kroner per trip. We know the demand function of the motorists and if using the new bridge is free, user costs will be 60 kroner, and traffic will be 2 600 vehicles per day.

We will however assume that every vehicle leads to road wear equal to 3.33 kroner per trip. This suggests that a toll equal to 3.33 kroner should be imposed on the motorists. If we also assume that the noise cost that the motorists inflict on the surroundings could be expressed as a monetary value equal to 10 kroner per trip, the optimal toll increases to 13.33 kroner. The total user cost is then 73.33 kroner, and the traffic will be slightly less than 2 500 vehicles.

User fees in excess of the level discussed above is, however, common in the Norwegian road sector. This report discussed the two main arguments for that.

Tolls as a source of finance – when taxation leads to an efficiency loss

In the preceding section we assumed that it was possible to finance the infrastructure through non-distortionary taxation. However, most tax systems lead to efficiency losses, i.e. they affect the resource allocation in society negatively. That means that collecting 1 krone through taxes costs more than 1 krone to society. In Norway the Ministry of Finance has decided that the average cost of public funds used in cost-benefit analyses should be 0.2 per krone.

This means that the bridge could be regarded as a tax base on par with other tax bases and requires a toll could be collected. Every krone of profit from the toll collection reduces the need to collect other taxes. On the other hand, tolls lead to a dead weight loss when marginal willingness to pay differs from marginal costs. This efficiency loss must be compared to the efficiency loss as a result of general taxation.

In Part I of the report, the optimal toll, i.e. the toll that maximises social surplus, is estimated. Social surplus is the sum of three parts:

- Consumer surplus – defined as the difference between the consumers' willingness to pay and the user costs.
- The producer surplus - the surplus for the operator of the road. This surplus is multiplied with 1.2 as it reduces the need to collect taxes.
- Net external effects

When the toll exceeds the level which was optimal without distortionary taxes, the consumer surplus is reduced as some motorists now choose not to use the road. The producer surplus, on the other hand, is increased when the toll increases (as long as it does not exceed the monopoly price). What happens to the external effects depends on the size and balance of the positive and negative external effects.

With the use of the example, we show that at a cost of public funds equal to 0.20 per krone, the optimal toll is 47 kroner compared to 13.33 when the cost of public funds is zero. The result is total user cost equal to 107 kroner. The assumption of a non-zero cost of public funds has, in other words, dramatic implications.

Distributional effects are ignored in the example. In principle it is possible to include distributional effects in the analysis. The richer a motorist that uses the road is, the higher the toll should be.

Tolls in congested conditions

Travel time is an important part of the direct user costs. It is hence relevant to investigate how congestion implicates the optimal toll.

In a congested situation, one extra vehicle will contribute to increased congestion which means that the travel time costs increase for *all* motorists. This is a special case of negative externalities. When a motorist considers whether to enter a road network, he (or she) will only consider the *average* cost of congestion. He will not consider that the travel time (and costs) increases for all the existing motorists. To ensure that he takes these negative externalities into consideration a toll equal to the difference between the social marginal costs and the private marginal cost at the optimal level of traffic must be imposed.

The report also discusses cases where the optimal toll cannot be realised - and where a second best toll must be considered. An example of this is when a toll only could be imposed on a certain road in a network of roads. In such cases, motorists may choose untolled roads. This type of distortionary effects may have both private and social costs. In this second-best case, the toll is lower than the optimal first-best toll. In the report we show how this can be derived.

The report also discusses a result that in the literature is known as the Mohring and Harwitz theorem (1962). The theorem states that under certain conditions, an optimally designed and optimally priced road may generate tolls which cover both the investment costs and the costs of maintenance of infrastructure. The assumptions include constant returns to scale with respect to investment in increased road capacity, the ability to vary the road capacity continuously and unchanged user charges when road capacity and traffic changes by the same factor.

The theorem originally assumed identical motorists, but it has later been shown that it also applies to cases where motorists have different valuation of travel time. The toll must be based on a weighted average of various motorists' valuation of travel time, where the weights are the number of trips during the period for those who still use the road after toll is imposed. The optimal congestion toll can further vary over a day, so that those traveling in the peak have to bear a greater share of the infrastructure costs.

So far we have used examples of how the external costs (noise, emissions, congestion etc.) are negative, but road investments may also have positive effects on the rest of the economy and which the motorists may not take into consideration. A source of these positive external effects is reduced travel times which may lead to larger and more integrated labour markets which may increase productivity and economic growth. More people commuting to work are an indication of positive externalities from road investments. Increased traffic may hence lead to two opposite effects. First, congestion and other negative externalities is an argument for a toll that internalises the cost. Secondly, positive externalities may justify a subsidy of driving to and from work. The optimal toll must take both effects into account.

1 Innledning

Alle aktiviteter i samferdselssektoren bygger på tjenester fra en eller annen type infrastruktur – et nettverk av veier, jernbaneskinner, havner, flyplasser, etc., med tilhørende fasiliteter. Investeringskostnader knyttet til infrastrukturen, sammen med utgifter til drift og vedlikehold, må finansieres på en eller annen måte.

Tradisjonelt har mye infrastruktur i Norge, særlig innen vei og jernbane, vært finansiert over skatteseddelen. Gitt at infrastrukturtenester i mange sammenhenger fremtrer som tilnærmet kollektive goder, hvor de (brukeravhengige) ikke-internaliserte marginalkostnadene er neglisjerbare, så er det gode velferdsteoretiske grunner til å velge en slik løsning, forutsatt at man ser bort fra effektivitetstap forårsaket av skattefinansieringen (og dermed strengt tatt forutsetter ikke-vridende beskatning). Dette gjelder spesielt i veisektoren, som er hovedfokus i denne rapporten. Brukernes kostnader knyttet til bruk av veien vil i en slik situasjon være entydig bestemt av de direkte kostnadene, som tidskostnader, drivstoffbruk og slitasje på kjøretøy. Om sluttbrukerne nyter godt av infrastrukturtenestene gjennom andre aktører (operatører – som busselskap, og befraktere) vil disse kostnadene dels manifestere seg gjennom billettpris for passasjerer og fraktekostnader for de som sender gods.

Men selv om man ser bort fra skattefinansieringens effektivitetstap, bør brukerne betale for infrastrukturtenester dersom de ikke-internaliserte marginalkostnadene ikke er neglisjerbare. Slike ikke-internaliserte brukeravhengige kostnader kan dels være kostnader brukerne påfører operatørene av infrastrukturen (for eksempel asfaltslitasje og dermed vedlikehold), men ofte oppstår også negative eksterne virkninger knyttet til forurensing eller trengselsproblemer. Brukernes bidrag til globale klimagassutslipp kan (muligens?) sies å være internalisert gjennom avgifter på drivstoff, mens bidrag til lokal forurensing som støy og svevestøv ikke er det. En avgift som dekker den lokale miljøkostnaden bør derfor tas med i brukeravgiften sammen med kostnaden for operatøren. Hvis det i tillegg er trengselsproblemer, bør den enkelte bruker belastes med en egen avgift som reflekterer de trengselskostnadene vedkommende påfører andre. Kostnadene for brukeren vil i en slik situasjon bestå av denne brukeravgiften i tillegg til de direkte brukerkostnadene nevnt over.

Bomavgifter ved kødannelser (ofte kalt køprising) i en situasjon hvor vi ser bort fra effektivitetstap ved beskatning, er tema for del II i denne rapporten. Der gis en oversikt over internasjonal litteratur på området. Det legges spesielt vekt på spørsmål knyttet til optimale bomavgifter i veinettverk (hvor køer ett sted påvirkes av bomavgifter andre steder i nettverket) og om de optimale bomavgiftene kan

tenkes å gi tilstrekkelige inntekter til å dekke infrastrukturkostnadene. Avslutningsvis diskuteres optimale bomavgifter i en situasjon med køer og agglomerasjonsgevinster.

Men ettersom generell beskatning og dermed skattefinansiering av infrastrukturen i realiteten påfører skattebetalerne (og økonomien) effektivitetstap, slik at verdien av en skattekrone blir høyere enn en privat krone (20 % høyere iflg. Finansdepartementet), vil det være fornuftig i et velferdsteoretisk perspektiv å betrakte infrastruktur tjenestene som skattebaser på lik linje med andre skattebaser og innføre brukeravgifter (skatt på bruken av tjenestene). Inntekten fra disse avgiftene vil da fordele kostnadene til investeringer og andre faste kostnader (brukeravhengige drifts- og vedlikeholdskostnader) mellom brukerne og skattebetalerne. Dette er tema for del I i denne rapporten, hvor det gis en innføring i velferdsteoretiske prinsipper knyttet til problemstillingen, anvendt på et stilisert prosjekt i veisektoren hvor det ikke er køproblemer.

Brukeravgifter vil i dette perspektivet presse de samlede kostnadene for brukerne opp slik at de kommer over (de brukeravhengige) marginalkostnadene, det vil si de kostnadene brukerne påfører operatøren av infrastruktur og/eller samfunnet forøvrig pluss de kostnadene de påføres direkte. Dermed fortrenses brukere som har en høyere betalingsvillighet for bruk av infrastruktur tjenestene enn (de samlede) marginalkostnadene. Dette forårsaker et effektivitetstap. Den optimale brukeravgiften i et konkret tilfelle, vil i prinsippet være den som bidrar til at effektivitetstapet knyttet til siste krone krevd inn som brukeravgift, blir lik effektivitetstapet forårsaket av siste skattekrone brukt i den aktuelle konteksten.

Den optimale brukeravgiften vil da dekke de brukeravhengige marginalkostnadene for operatøren (for eksempel asfaltslitasje), eksterne kostnader brukeren påfører omgivelsene (for eksempel knyttet til støy, utslipp og/eller trengsel) og i tillegg gi et eget bidrag til finansieringen av selve infrastrukturen og brukeravhengig drift og vedlikehold. Hvor stort dette bidraget vil være i et konkret prosjekt, vil være situasjonsavhengig – blant annet fordi nivået på den optimale avgiften vil kunne variere fra prosjekt til prosjekt.

2 Del I Bomavgifter som finansieringskilde

Karl R. Pedersen

2.1 Innledning

Bompenger er svært utbredt i veisektoren i Norge. Det gjennomføres knapt et prosjekt uten bruk av bompenger. Betydningen har økt over tid, og i dag finansieres om lag halvparten av veiinvesteringene gjennom bompenger.

Det kan være flere typer argumenter for å avgiftsbelegge bruken av en vei (eller deler av den, som ei bru eller en tunnel). I denne delen har vi hovedfokus på finansieringsargumentet, men visse typer eksterne virkninger vil også bli kommentert. Utgangspunktet er at alternativet til bompenger er skattefinansiering, og at finansiering gjennom generell beskatning gir effektivitetstap, se NOU 1997:27 og Hagen (2000). Den viktigste implikasjonen av dette er at kostnaden for skattebetalingene knyttet til at de betaler skatt, er høyere enn det beløpet som kommer inn i statskassen. Med dette utgangspunktet har Finansdepartementet i sin Veileder i samfunnsøkonomiske analyser (2005) anbefalt å la verdien av en krone inn i eller ut av statskassen være verdt 20 % mer enn en krone inn i eller ut av en privat lommebok, det vil si å sette *cost of funds* lik 1,2, altså $CF=1,2$. (Egentlig er det kostnaden knyttet til en marginal inntektsøkning for det offentlige, *marginal cost of public funds*, som burde vært brukt). Som vi skal se, vil nivået på den optimale bomavgiften i samferdselssektoren være kritisk avhengig av nivået på CF .

2.2 Optimal bomavgift: Et illustrerende eksempel

Hovedpoengene vil bli illustrert ved hjelp av et stilisert eksempel¹. Ta utgangspunkt i en veistrekning som går inn og ut av en fjord, hvor det nesten ikke bor folk. Veien trafikkeres utelukkende av bilister som kjører mellom en forstad og sentrum i en relativt stor by, dels til og fra jobb og dels til og fra fritidssysler. Det er ingen gjennomgangstrafikk, og andre kjøreruter finnes ikke.

¹ Denne fremstillingen er i hovedsak en forkortet og noe forenklet versjon av Pedersen (2012).

Nå diskuteres muligheten for å bygge ei bru over fjorden, da med tanke på å spare trafikantene for kjøretid.

Vi ser i første omgang bort fra eksterne virkninger, men kommer tilbake til dem i avsnitt 2.4 nedenfor. Innfallsvinkelen baserer seg på Hicks-Kaldor kriteriet², slik at vi også tillater oss å neglisjere fordelings effekter. Men vi kommer tilbake til fordelingsaspektet i avsnitt 2.5.

Trafikkgrunnlag

Dagens trafikk er 2000 kjøretøyer per døgn i gjennomsnitt (ÅDT), og den generaliserte reisekostnaden er 120 kroner hver vei. Det er gratis å bruke veien rundt fjorden (på den måten at det ikke er noen bomavgift å betale), så den generaliserte reisekostnaden/kjørekostnaden representerer direkte kjørekostnader, det vil si først og fremst drivstoff- og tidskostnader, men også kjøretøyslitasje.

Hvordan kjøringen varierer med kostnaden er ikke kjent, men elastisiteten antas i utgangspunktet å være $\eta = -0,6$, som er et nokså vanlig resultat i empiriske studier av liknende typer trafikk (Odeck og Braathen, 2007). Det betyr at hvis den generaliserte reisekostnaden øker med 1 %, så reduseres trafikken med 0,6 %. Elastisitetenes betydning diskuteres nærmere i Vedlegg 2. Jo høyere elastisiteten er (i tallverdi), jo flere trafikanter vil bli fortrent av en gitt bomavgift og jo større er avgiftens *avvisningseffekt*.

Med utgangspunkt i dette anslaget på elastisiteten og informasjonen om trafikk og kjørekostnader i utgangspunktet, kan vi finne betalingsvilligheten for å komme seg til eller fra byen og en avledet etterspørsel etter transportmuligheter, hvor de realistiske alternativene er ei ny bru eller (en muligens noe oppjustert) vei rundt fjorden som før. Disse to alternativene sammenliknes nedenfor - i avsnittet om nullalternativets betydning.

Vi antar at for enkelthets skyld at etterspørselsfunksjonen er lineær og uttrykker den som

$$X = a - bG$$

Gitt dagens trafikk og det nevnte anslaget på elastisiteten, kan den tallfestes som

$$X = 3200 - 10G$$

² Med utgangspunkt i dette kriteriet er den samfunnsøkonomiske verdien av et prosjekt lik summen av gevinstene for de som tjener på det, fratrukket summen av tapene for de som kommer dårligere ut, begge deler målt i kroner.

Ved å invertere denne etterspørselsfunksjonen, kan vi finne den marginale betalingsvilligheten, MBV, for å reise mellom de to aktuelle stedene:

$$\begin{aligned} G &= d - eX \\ &= 320 - 0.1X \end{aligned}$$

Denne er illustrert i figur 1. I dette eksemplet er det altså slik at en kroners økning i den generaliserte kjørekostnaden (for eksempel i bomavgiften) vil fortrenge 10 trafikanter. Og betalingsvilligheten reduseres med 10 øre når antall trafikanter øker med 1.

Avgiftsstrategier

Dersom brua blir bygd, reduseres kjøre- og tidskostnadene fra 120 til $C_K=60$ kroner. Men på den annen side må trafikantene belage seg på å betale en avgift på P kroner per brupassering, slik at den generaliserte reisekostnaden blir $G=P+C_K$.

Ulike avgiftsstrategier utredes og følgende alternativer har alle sine forsvarere:

1: $P=0$. Det er det offentlige oppgave å bygge og vedlikeholde veier. Dermed bør det offentlige (skattebetalerne) dekke både investeringskostnader og vedlikeholdskostnader. Slik var det i Norge tidligere, og slik bør det fortsatt være.

2: $P=3,33$. Avgiften bør dekke de brukeravhengige vedlikeholdskostnadene (asfaltslitasje o.l., som beløper seg til 3,33 kroner per trafikant), men det offentlige bør dekke investeringskostnaden og brukeruavhengige vedlikeholdskostnader. Dette er i tråd med tradisjonell velferdsteoretisk tenking, hvor *cost of funds* forutsettes å være lik 1, det vil si $CF=1$. Avgiften vil da sikre at trafikantenes generaliserte reisekostnader blir lik den samlede marginalkostnaden knyttet til bruk av den nye infrastrukturen.

3: $P=80$. Avgiften bør være den samme som på liknede prosjekter andre steder i regionen.

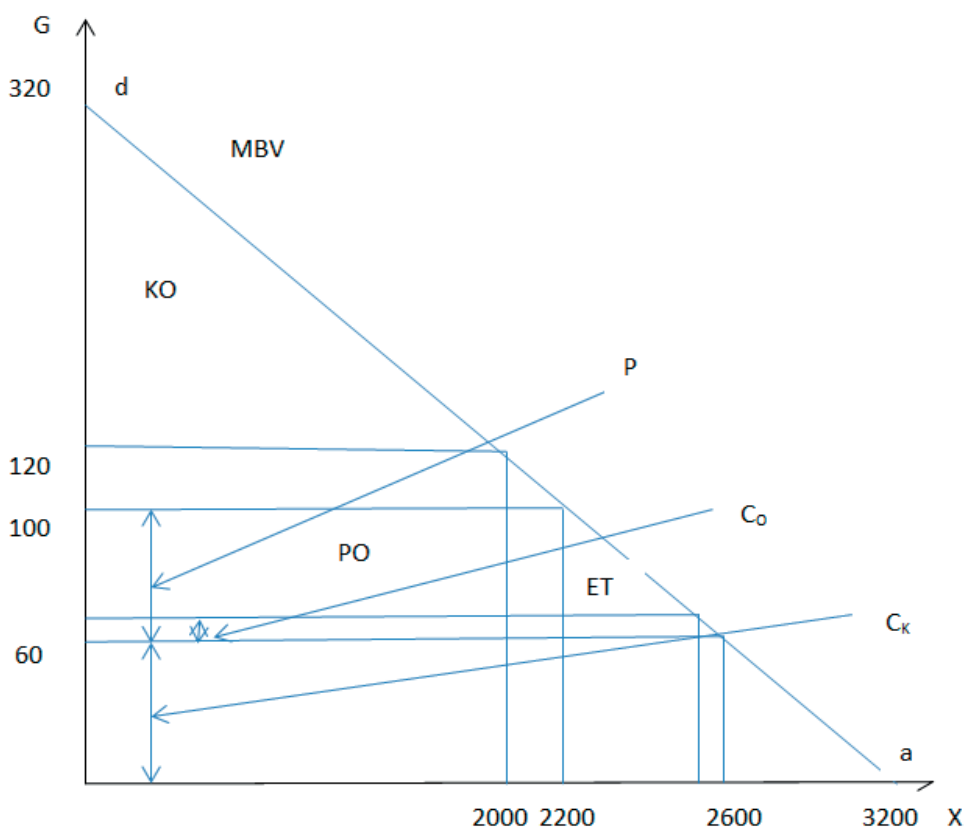
4: $P=131,67$ (monopolprisen). Det er fornuftig å ta ut «bompengepotensialet» fullt ut. Brua bør koste det offentlige minst mulig og brukerne bør bidra maksimalt til andre gode (offentlige) formål dersom inntektene fra bomavgiften overstiger kostnadene, for eksempel nye fortau i byen eller bedre bygdeveier i regionen.

5: $P=40$. Avgiften bør være den som moderne velferdsøkonomisk teori, hvor *cost of funds* er større enn 1 (i Norge: $CF=1,2$), tilsier er den samfunnsøkonomisk riktige. Det er den bomavgiften som maksimerer det samfunnsøkonomiske

overskuddet knyttet til prosjektet (evt. minimerer det samlede effektivitetstapet). Effektivitetstapet på siste krone innkrevd gjennom bompenger bør være lik effektivitetstapet knyttet til innkreving av siste skattekrone brukt i prosjektet.

Hovedpoenget med fremstillingen nedenfor er å illustrere hvordan den optimale satsen på $P^*=40$ kan begrunnes og beregnes, og samtidig illustrere kostnader knyttet til valg av en av de andre avgiftsstrategiene.

Det er her klart at enhver avgift som overstiger 60 kroner, slik at den generaliserte reisekostnaden overstiger $G=P+C_K=60+60=120$ (den opprinnelige reisekostnaden), forutsetter at den opprinnelige kjøreruten blir blokkert, gjennom et bevisst vedtak eller naturlig på grunn av manglede vedlikehold. Ellers vil alle trafikantene velge å bruke den gamle kjøreruten, og det vil være bortkastet å bygge brua.



Figur 1: Etterspørsel etter fjordkryssinger (marginal betalingsvillighet, MBV), kostnader og trafikk.

Konsumentoverskudd/Brukeroverskudd

Konsumentoverskuddet er det som brukerne (subjektivt) tjener på å forflytte seg mellom de to aktuelle stedene. Det kan beregnes fra følgende formel, jfr. også Figur 1:

$$(1a) \quad KO = \left(\frac{1}{2}\right) [d - (P + C_K)][a - (P + C_K)]$$

$$(1b) \quad = 5P^2 - 2600P + 338000$$

KO må her tolkes som et gjennomsnittstall per dag.

Som illustrert i Figur 2 synker konsumentoverskuddet monotont når P øker fra 0 mot 260, hvor den generaliserte reisekostnaden er $G = P + C_K = 260 + 60 = 320$, og ingen synes det er pengene verdt å bruke brua, selv i en situasjon hvor den opprinnelige kjøreruten er stengt.

Produsentoverskudd/Operatøroverskudd

Dersom brua blir bygd, vil det bli opprettet et operatørselskap med ansvar for innkreving av bomavgiften og for det løpende vedlikeholdet (på vegne av det offentlige). Selskapets overskudd kan beregnes fra følgende formel, hvor $C_O = 3,33$ er kostnaden per bruker for operatørselskapet (marginalkostnaden), f.eks. asfaltslitasje:

$$(2a) \quad PO = (P - C_O)[a - b(P + C_K)]$$

$$(2b) \quad = -10P^2 + 2633.33P - 8666.67$$

Som illustrert i figur 2 stiger produsentoverskuddet når P øker frem til $P = 131,67$ (monopolprisen), for deretter å avta. Det er lik null når $P = C_O = 3,33$, og negativt hvis P er lavere enn 3,33.

Samfunnsøkonomisk overskudd/Nettonytte

Gitt at brua er bygd og den tidligere kjøreruten stengt, kan den samfunnsøkonomiske verdien knyttet til at trafikantene bruker den nye brua, beregnes som

$$(3) \quad = KO + PO \cdot CF$$

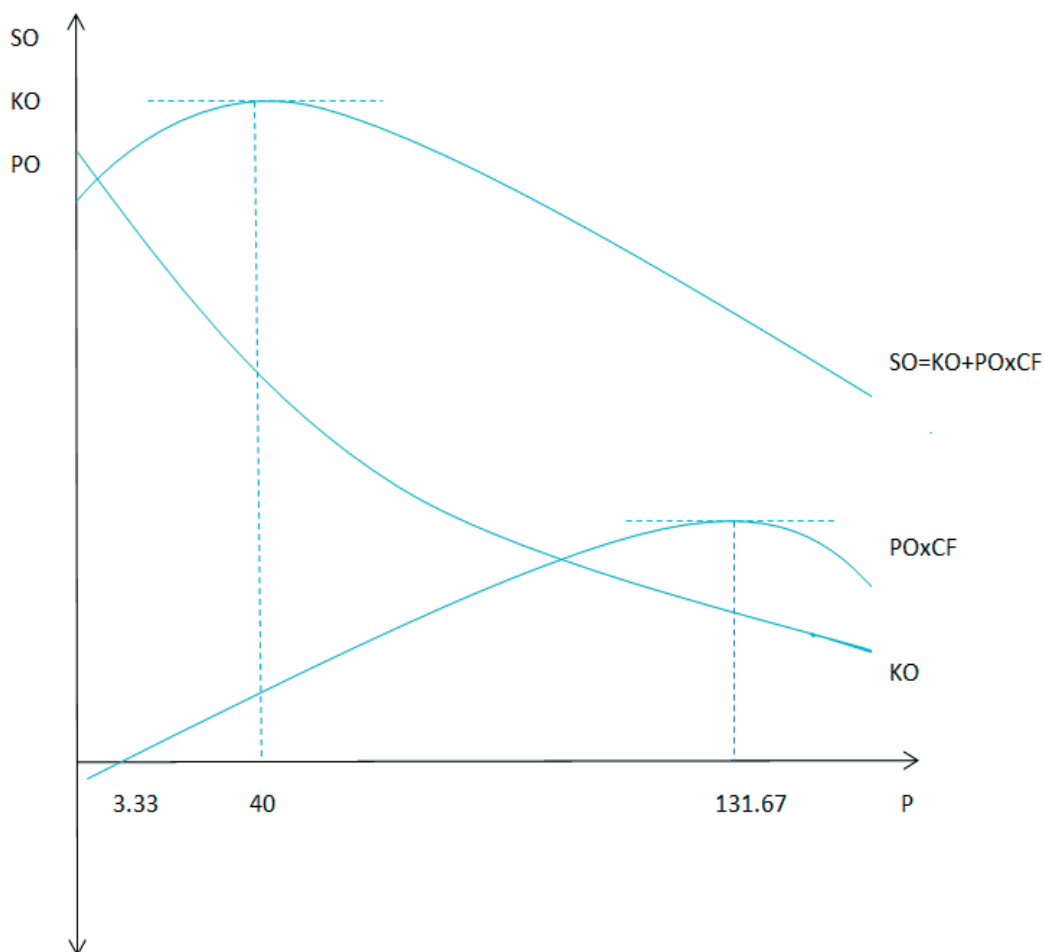
per dag, når operatørselskapets overskudd vurderes som like godt som generelle skatteinntekter (som altså kreves inn ved hjelp av vridende skatter), det vil si at det har en verdi på $CF \gg 1$ pr. krone. Finansdepartementets Veileder i samfunnsøkonomiske analyser anbefaler som nevnt å sette $CF=1,2$, men vi vil eksperimentere med andre tallverdier også. I Tabell 1 nedenfor er det samfunnsøkonomiske overskuddet beregnet under forutsetning av at $CF=1,2$. Det er disse tallene som ligger bak illustrasjonene i Figur 2.

Tabellen viser hvordan de aktuelle størrelsene varierer med avgiftsstrategien. KO, PO, SO er alle oppgitt i tusen kroner.

Tabell 1: Samfunnsøkonomisk overskudd ved ulike priser

P	0	3,33	40	80	131,67
G	60	63,33	100	140	191,67
X	2600	2566,7	2200	1800	1283,3
KO	338	329,4	242	162	82,3
PO	-8,7	0	80,7	138	164,7
SO	327,6	329,4	338,8	327,6	279,9

Det er klart at $P=40$ (noe som utgjør 40 % av den generaliserte kjørekostnaden på 100) er den beste bomavgiften når $CF=1,2$. Dersom P er lavere enn 40 vil det samfunnsøkonomiske overskuddet øke (og det samlede effektivitetstapet i økonomien avta – se vedlegg 1) dersom P blir økt. Er P høyere enn 40, er situasjonen motsatt, og det er lønnsomt å redusere P .



Figur 2: Figuren illustrerer hvordan brukernes overskudd (KO) faller når bomavgiften øker, mens operatørens overskudd (PO) øker så lenge avgiften er lavere enn monopolprisen. Nettogevinsten for samfunnet (SO) øker når avgiften øker så lenge den er lavere enn $P^* = 40$, som er den optimale.

2.3 Optimal bomavgift. En analytisk løsning

Som det fremgår av den grafiske illustrasjonen i Figur 2, kan den optimale bomavgiften, $P=40$, finnes som den avgiften som bidrar til at det samlede samfunnsøkonomiske overskuddet blir så stort som mulig (eller som den avgiften som bidrar til at netto effektivitetstap blir så lavt som mulig – se vedlegg 1).

Når P øker, reduseres konsumentoverskuddet, samtidig som produsentoverskuddet øker (så lenge P er lavere enn monopolprisen) og behovet for skattefinansiering reduseres. Den bomavgiften som gir det høyeste samfunnsøkonomiske overskuddet, finner vi analytisk ved å sette den deriverte av SO i (3) med hensyn på P lik null:

$$(4) \quad \frac{dSO}{dP} = \frac{dKO}{dP} + \frac{dPO}{dP} \cdot CF = 0$$

Den generelle løsningen finner vi ved å derivere KO i (1a) og PO i (2a) med hensyn på P. Etter noen forenklinger kan likningen uttrykkes som

$$(4a) \quad \frac{dSO}{dP} = b(P + C_K - d) + b(-2P + C_O + d - C_K)CF = 0$$

Den optimale bomavgiften kan nå beregnes. Den generelle formelen er:

$$(5a) \quad P^* = \frac{1}{2CF-1} [(d - C_K)(CF - 1) + C_O \cdot CF]$$

Alternativt kan vi gå rett på det numeriske eksemplet og derivere KO i (1b) og PO i (2b) med hensyn på P og få

$$(4b) \quad \frac{dSO}{dP} = 10P - 2600 + (-20P + 2633.33)CF = 0$$

Den optimale avgiften i eksemplet kan dermed uttrykkes som (som en funksjon av CF):

$$(5b) \quad P^* = \frac{263.33CF - 260}{2CF - 1}$$

Vi ser som forventet at hvis $CF=1$ (ikke-vridende beskatning), så er den optimale bomavgiften lik operatørens kostnad per bruker, $C_O=3,33$. Hvis denne kostnaden er 0, vil også den optimale bomavgiften være det; det bør være gratis å bruke den nye brua.

Hvis $CF \gg 1$ (vridende beskatning) bør avgiften være høyere enn denne kostnaden, se tabell 2 nedenfor.

Cost of funds (CF) og betydningen av den

Bakgrunnen for Finansdepartementets anbefaling om å la effektivitetstapet knyttet til en skattekrone (på marginen) utgjøre 20 øre, slik at verdien av en skattekrone brukt i et offentlig prosjekt er $CF=1,2$, er gjengitt i NOU 1997:27. I virkeligheten varierer anslagene på CF betydelig, men det er viktig at man bruker samme anslag i alle prosjektanalyser, slik at de samfunnsøkonomiske nettogevinstene blir sammenlignbare. Ellers vil det være svært vanskelig å velge mellom prosjektene på en konsistent måte.

Det er instruktivt å se hva som skjer med optimal bomavgift når vi lar CF variere.

Tabell 2: *Variasjoner i optimal bomavgift med varierende effektivitetstap ved skattefinansiering*

CF	1	1,2	1,5	∞
P*	3,33	40	67,5	131,67

Figur 2 kan brukes til å illustrere hvordan $SO=KO+PO \cdot CF$ avhenger av CF. For ethvert nivå på P, straks den overstiger $C_0=3,33$, skifter SO opp dersom CF øker - fordi den samfunnsøkonomiske verdien av produsentoverskuddet øker (og omvendt dersom P er lavere enn 3,33). Men samtidig skifter toppunktet til høyre - noe som reflekterer at den optimale bomavgiften øker. At den samfunnsøkonomiske verdien per dag øker dersom CF øker, skyldes at operatørselskapet daglig bidrar til innbetaling i statskassen, hvor verdien per krone øker når CF øker. Den samfunnsøkonomiske verdien av denne innbetalingen er høyere jo høyere CF er.

Jo høyere CF er, jo viktigere er det dermed at brukerne selv bidrar til dekning av faste (brukeravhengige) kostnader og eventuelt selve investeringskostnaden gjennom høyt produsentoverskudd. Vi ser at når CF blir svært høy, vil den optimale avgiften nærme seg monopolprisen.

Kostnadenes betydning for den optimale bomavgiften

Fra formelen for optimal bomavgift (5a) kan vi også finne effekten av endringer i de direkte brukerkostnadene, C_K , og endringer i operatørselskapets brukeravhengige kostnader, C_0 :

$$\frac{\partial P^*}{\partial C_0} = \frac{CF}{2CF-1} = 0.857$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial C_K} = -\frac{CF-1}{2CF-1} = -0.143$$

Det vil si at 85,7 % av en kostnadsøkning for operatørselskapet bør veltes over i økt bomavgift, mens 14,3 % av en økning i de direkte brukerkostnadene bør kompenseres i form av redusert bomavgift når $CF=1,2$. Dersom CF øker til 1,5, endres tallene til 0,75 og -0,25, mens de rimeligvis er 1 og 0 for $CF=1$. Det betyr at jo høyere CF, jo lavere andel av operatørens brukeravhengige kostnader skal overveltes på brukerne i form av bomavgift, og jo høyere del av kostnadene for brukerne skal gis i fratregg når bomavgiften beregnes. Årsaken er at jo høyere CF er, jo høyere er den optimale bomavgiften i utgangspunktet. Og jo høyere denne er, jo lavere er trafikken og jo høyere er etterspørselselastisiteten. Dette betyr igjen at jo høyere CF er, jo høyere er effektivitetstapet knyttet til en gitt økning i bomavgiften.

Nåverdien

Diskusjonen ovenfor dreier seg om gevinster og kostnader per dag. Vi multipliserer med 365 for å få årlige tall, samtidig som vi tar hensyn til at det også påløper faste (det vil si trafikkuavhengige kostnader), F_0 , blant annet knyttet til innkreving av bomavgiften og vedlikehold (maling, brøyting etc.). I eksemplet er de årlige faste kostnadene 5 millioner kroner, $F_0=5\,000\,000$. Det samfunnsøkonomiske overskuddet i år t kan vi dermed beregne som

$$\begin{aligned} SO_t &= 365 \cdot KO + (365 \cdot PO - F_0) \cdot CF \\ &= KO_t + PO_t \cdot CF \end{aligned}$$

Gitt det løpende vedlikeholdet som allerede er budsjettert, vil bruas levetid være svært lang - så lang at vi tillater oss å late som om den er uendelig lang. Nåverdien av investeringskostnadene i basisåret er I . Gitt at det samfunnsøkonomiske overskuddet er det samme i alle perioder, kan nåverdien av hele bruprojektet dermed beregnes som

$$NV = -I \cdot CF + \frac{SO_t}{r}$$

der r er realrenten. At SO_t ikke endres over tid kan (noe urealistisk) begrunnes med at antall trafikanter er konstant (for gitt avgiftsstrategi) og at alle nominelle størrelser vokser i nøyaktig samme takt som konsumprisindeksen, altså ingen realprisendringer knyttet til gevinster eller kostnader.

Hvis vi reorganiserer litt, kan denne nåverdien uttrykkes som

$$NV = -\left(I - \frac{PO_t}{r}\right) \cdot CF + \frac{KO_t}{r}$$

hvor $I - PO_t/r$ er nåverdien av nettobelastningen for statskassen (skattebetalerne).

Tabell 3 nedenfor angir konsumentoverskudd, produsentoverskudd og netto samfunnsøkonomisk gevinst per år - i tillegg til nåverdi og nettobelastning for statskassen for de ulike avgiftsstrategiene, under forutsetning av at $CF=1,2$. Realrenta er satt til 5 %, $r=0,05$, og investeringskostnaden er 1,5 milliarder kroner, $I=1\,500\,000$ tusen kroner. Tallene i tabellen er i tusen.

Tabell 3: Optimal bomavgift

P	0	3,33	40	80	131,67
KO_t	123 370	120 231	88 330	59 130	30 039,5
KO_t/r	2 467 400	2 404 620	1 766 600	1 182 600	600 790
PO_t	-8 175,5	-5 000	29 455,5	45 370	55 115,5
PO_t/r	-163 510	-100 000	589 110	907 400	1 102 310
SO_t	113 559,4	114 231	117 676,6	113 574	96 178,1
SO_t/r	2 271 182	2 284 620	2 353 532	2 271 480	1 923 562
NV	471 182	484 620	553 532	471 480	123 562
$I-PO_t/r$	1 663 520	1 600 000	910 890	592 600	397 690

Vi vet at $P=40$ er det nivået på bomavgiften som maksimerer det samfunnsøkonomiske overskuddet per dag, SO . Vi ser i tabell 3 at samme avgiftssats også maksimerer det samfunnsøkonomiske overskuddet per år, SO_t , og nåverdien av prosjektet NV . Denne avgiftssatsen gir også den optimale fordelingen mellom brukerne og skattebetalerne når det gjelder investeringskostnaden og de brukeruavhengige kostnadene. Vi ser at belastningen for skattebetalerne er i underkant av 911 millioner, noe som utgjør om lag 60 % av investeringskostnadene. En høyere avgiftssats reduserer denne andelen, men reduserer samtidig den samfunnsøkonomiske verdien av prosjektet. En lavere sats øker skattebetalerne andel, samtidig som den reduserer den samfunnsøkonomiske verdien.

Konsekvensene av de ulike avgiftsstrategiene som ble skissert innledningsvis, kan leses direkte ut av tabellen.

2.4 Nullalternativets betydning

De beregningene vi har gjort ovenfor, dreier seg strengt tatt om den samfunnsøkonomiske verdien av brua, gitt at den representerer den eneste muligheten dersom en ønsker å kjøre mellom bosted og sentrum. Men det eksisterer allerede en vei, og hvis den også kan brukes i fremtiden, med store eller små utbedringer, vil fortsatt bruk av denne være et fornuftig sammenlikningsgrunnlag. Anta først at det alternativet brua konkurrerer med, er en oppjustert versjon av den gamle veien. Den vil bidra til reduserte kjørekostnader, C_K , sammenliknet med dagens nivå på 120, men ettersom den vil kreve betydelige investeringer, I_V , vil det mest realistiske være at den blir gjort om til en bomvei. Derfor må nåverdien av den oppjusterte veien beregnes på samme måte som nåverdien av bruprosjektet ovenfor.

Hvis vi lar toppskriften B representere brua og V symbolisere veialternativet, kan den samfunnsøkonomiske nettogevinsten av bruprosjektet beregnes som

$$\begin{aligned}\Delta S &= NV^B - NV^V \\ &= -\left(I_B - \frac{PO_t^B}{r}\right) \cdot CF + \frac{KO_t^B}{r} - \left[-\left(I_V - \frac{PO_t^V}{r}\right) \cdot CF + \frac{KO_t^V}{r}\right] \\ &= \Delta KO + (\Delta PO - \Delta I) \cdot CF\end{aligned}$$

hvor $\Delta KO = KO_t^B/r - KO_t^V/r$ er nåverdien av økningen konsumentoverskuddet, $\Delta PO = PO_t^B/r - PO_t^V/r$ er nåverdien av økningen i produsentoverskuddet og $\Delta I = I^B - I^V$ er nåverdien av økningen i investeringene.

Brua bør altså velges framfor en oppjustert vei dersom ΔS er positiv.

Hvis fortsatt bruk av gamleveien, uten investeringer og bomavgift, er et realistisk alternativ, er det svært enkelt å lage et nullalternativ. Vi vet at kjørekostnaden er $C_K^V = 120$ kroner og at trafikken $X^V = 2000$. Dette gir et konsumentoverskudd på $KO^V = 200\,000$ kroner per dag. Vi antar at brukerkostnaden på operatørens hånd er $C_O^V = 5$ kroner per trafikant slik at produsentoverskuddet per dag blir $PO^V = -10\,000$. Dersom de faste kostnadene per år utgjør 10 millioner, $F_O^V = 10\,000\,000$, kan det samfunnsøkonomiske overskuddet per år beregnes som:

$$\begin{aligned}SO_t^V &= KO_t^V + PO_t^V \cdot CF \\ &= 365 \cdot KO^V + (365 \cdot PO^V - F_O^V) \cdot CF \\ &= 56620\end{aligned}$$

målt i tusen kroner, med en nåverdi på:

$$NV^V = \frac{SO_t^V}{r} = 1132400$$

det vil 1 132,4 millioner. Det er dermed soleklart at det ikke er lønnsomt å bygge brua, som med optimal avgiftsstrategi gir $NV^B=553\,532$, altså 553,5 millioner kroner. Fortsatt bruk av veien har en nåverdi som er over dobbelt så høy som brualternativet.

En lavere rente vil imidlertid kunne endre den konklusjonen, ettersom det framtidige årlige samfunnsøkonomiske overskuddet er høyere for brualternativet enn ved fortsatt bruk av veien. Ved $r=0,02$, har vi $NV^B=4\,083\,830$ (forutsatt optimal bomavgift) og $NV^V=2\,831\,000$ slik at $\Delta S=NV^B-NV^V=1\,252\,830$, altså klart i favør av brualternativet.

2.5 Eksterne virkninger

Fremstillingen ovenfor bygger grunnleggende på en forutsetning om at alle relevante gevinster og kostnader knyttet til bruk av den nye infrastrukturen internaliseres av brukerne – da med unntak av asfaltslitasje o.l., som håndteres av bomselskapet. I virkelighetens verden kan det være mange bi-effekter som ikke internaliseres. Forurensing er et eksempel på en viktig negativ ekstern virkning, mens ringvirkninger (mernytte) er et eksempel på en positiv.

Lokal forurensing

I en situasjon hvor trafikantene påfører lokalmiljøet støy-, svevestøv- eller liknende kostnader og/eller køkostnader, vil trafikken bli for stor dersom trafikantene ikke konfronteres med disse kostnadene slik at de internaliseres. Bomavgifter har tradisjonelt vært sett på som en god løsning i en slik situasjon, sammenliknet med andre måter å få ned trafikken og dermed redusere forurensingsproblemene på. Vi ser i første omgang bort fra køkostnader, som er tema for del II av rapporten (og Brunstad og Vagstad, 2010).

Vi tenker oss at trafikantenes bidrag til global forurensing (gjennom utslipp av klimagasser) er internalisert gjennom miljøavgifter på drivstoff. Vi tillater oss å se bort fra denne type forurensing her.

Avgifter mot forurensing gir i utgangspunktet en dobbel gevinst (double dividende) for samfunnet: Redusert forurensing og økte inntekter for myndighetene (reduisert belastning for andre skattebaser med tilhørende effektivitetsgevinst). Men gitt at bomavgiften selv uten forurensing, er en viktig finansieringskilde for prosjektet, blir avveilingen en annen enn den tradisjonelle.

Vi ser her på et enkelt eksempel hvor hver trafikant påfører omgivelsene en negativ ekstern virkning, f.eks. støy, som verdsettes til Q kroner, slik at de totale kostnadene knyttet til denne eksterne virkningen er $Q \cdot X$.

Ringvirkninger/mernytte

I de senere år er det blitt satt stadig sterkere fokus på det som kaller netto ringvirkninger – eller mernytte – knyttet til infrastrukturinvesteringer i samferdselssektoren, se Venables (2007) for en teori-modell og Hagen m.fl. (2014) for en bredt anlagt oversikt over de viktigste problemstillingene. Det kan være mange ulike årsaker til slike ringvirkninger, men felles for dem alle er at de reflekterer en eller annen form for økt verdiskaping som i utgangspunktet ikke internaliseres og ivaretas av de aktørene som er direkte involvert i «trafikkmarkedet». Det er bakgrunnen for at slike effekter kan karakteriseres som eksternaliteter.

Vi antar også her at det er en enkel og lineær sammenheng mellom eksternaliteten og antall brukere av infrastrukturen. Hver trafikant genererer positive ringvirkninger til en verdi av R kroner. De samlede ringvirkningene blir dermed $R \cdot X$ kroner. Disse verdiene fordeler seg så mellom privat sektor og offentlig sektor, hvor verdien altså er 20 % høyere. Fordelingsnøkkelen er en andel t til det offentlige og $1-t$ til private. Som en tilnærming kan t settes lik gjennomsnittlig skattenivå.

Optimal bomavgift

I resten av dette avsnittet vil vi vise hvordan den optimale bomavgiften påvirkes av eksternaliteter som forurensing og ringvirkninger. Vi maksimerer det samfunnsøkonomiske overskuddet. Konsument- og produsentoverskudd kalkuleres akkurat som før (se (1a) og (2a)), men nå kommer myndighetenes andel av ringvirkningene $t \cdot R \cdot X$ inn i statskassen i tillegg til produsentoverskuddet. I tillegg lager vi en sektor vi kan kalle «resten av samfunnet», som påføres forurensingskostnaden $Q \cdot X$, men høster sin del av gevinsten fra ringvirkningene $(1 - t) \cdot R \cdot X$.

Det samfunnsøkonomiske overskuddet kan dermed uttrykkes som

$$SO = KO + (PO + tRX) \cdot CF + ((1 - t)RX - QX)$$

Vi finner den optimale avgiften fra betingelsen

$$\frac{dSO}{dP} = \frac{dKO}{dP} + \frac{dPO}{dP} \cdot CF + (tCF + (1 - t)R - Q) \frac{dX}{dP} = 0$$

hvor de to første leddene er kjent fra tidligere (se 4a) og det siste er netto bidrag til eksternaliteter per trafikant. $dX/dP=-b$ er trafikkreduksjonen som følger av en økning i bomavgiften med 1 krone. Økt brukeravgift fører til redusert trafikk og dermed reduksjon i den samlede forurensingskostnaden, men samtidig en reduksjon av de positive ringvirkningene.

Den optimale avgiften er nå:

$$P^* = \frac{1}{2CF-1} [(d - C_K)(CF - 1) + (C_O - tR) \cdot CF + (Q - (1 - t)R)]$$

Ved å sette både forurensingen Q og ringvirkningene R lik 0, er vi tilbake til resultatet i (5a) og $P^*=40$ når $CF=1,2$.

Forurensing

Hvis vi introduserer en forurensingskostnad på $Q=10$ kroner per trafikant, men holder fast på ringvirkningene er $R=0$, øker den optimale bomavgiften fra 40 til $P^*= 47,14$.

Den er nå høyere enn 40, som er den optimale avgiften uten forurensingen, men lavere enn 50. Det vil si at forurensningskostnaden ikke kastes over på brukerne fullt ut. Årsaken er at effektivitetstapet knyttet til forurensingen må veies opp mot effektivitetstapet knyttet til at brukernes marginale betalingsvillighet er høyere enn den brukeravhengige kostnaden for operatøren. Når avgiften øker og trafikken reduseres, reduseres nok de samlede forurensningskostnadene, men samtidig øker effektivitetstapet på grunn av økt differansen mellom marginal betalingsvillighet og den aktuelle brukeravhengige kostanden.

Dersom $CF=1$ (ikke-vridende beskatning), vil $P^*=C_O+Q=13,33$. I dette tilfelle er det i utgangspunktet intet effektivitetstap knyttet til bruk av brua og forurensingskostnaden kastes over på brukerne fullt ut, sammen med asfaltslitasje o.l.

Hvis forurensingskostnaden øker, øker selvfølgelig også den optimale bomavgiften, men ikke like mye som forurensingskostnaden - med mindre $CF=1$.

$$\begin{aligned} \frac{\partial P^*}{\partial Q} &= \frac{1}{2CF-1} \\ &= 0.714 \text{ for } CF = 1.2 \\ &= 1 \text{ for } CF = 1 \end{aligned}$$

Vi ser at dersom $CF=1,2$, så øker den optimale bomavgiften med i overkant av 70 % av økningen i forurensingskostnaden. Denne andelen er lavere jo høyere CF er, det vil si jo mer verdifull offentlige inntekter er.

Ringvirkninger

Mens forurensingskostnader bidrar til å øke den optimale bomavgiften, vil positive ringvirkninger selvfølgelig trekke i motsatt retning. Hvis vi introduserer ringvirkninger verdt $R=10$ kroner per trafikant men setter forurensingskostnaden til $Q=0$ og samtidig lar all gevinst fra ringvirkningene tilfalle privat sektor (dvs. setter $t=0$), vil ringvirkningene fungere som en like stor negativ forurensingskostnad. Den optimale bomavgiften reduseres dermed fra 40 til $P^*=32,86$ og

$$\begin{aligned}\frac{\partial P^*}{\partial R} &= -\frac{1}{2CF-1} \\ &= -0.714 \text{ for } CF = 1.2 \\ &= -1 \text{ for } CF=1\end{aligned}$$

I den grad noe av inntektene manifesterer seg som offentlige inntekter (dvs. $t \gg 0$) vil den optimale avgiften være litt lavere og den negative effekten på bomavgiften knyttet til en økning i ringvirkningene være høyere (med mindre $CF=0$) Hvis for eksempel ringvirkningene deles likt mellom privat og offentlig sektor (dvs. $t=0,5$) har vi $P^*=32,14$ og

$$\begin{aligned}\frac{\partial P^*}{\partial R} &= -\frac{1}{2CF-1}[tCF + (1-t)] \\ &= -0.786 \text{ for } CF = 1.2 \\ &= -1 \text{ for } CF=1\end{aligned}$$

Vi ser altså at positive ringvirkninger bidrar til å holde den optimale bomavgiften nede. Årsaken er at jo høyere ringvirkningene er, jo høyere er kostnaden knyttet til at bomavgiften fortrenger brukere. Og jo større andel som tilfaller det offentlige, jo høyere er denne kostnaden.

2.6 Fordeling

Finansdepartementets holdning i Veilederen er at fordelingshensyn skal ivaretas gjennom mer generelle og målrettede virkemidler og ikke gjennom prosjektutforming og -seleksjon. Det er imidlertid fullt mulig å lage rimelig enkle fordelingsvekter og bruke disse til å veie gevinster og ulemper for ulike grupper

sammen på en konsistent måte, gitt at inntektsutjevning er en målsetting som skal telle når man skal velge mellom prosjekter. Som et enkelt eksempel kan vi anta at bruprojektet gjennomføres i en relativt fattig og tilbakeliggende region av landet og at brukerne er relativt like (ingen store inntektsforskjeller blant brukerne). La D være den samfunnsøkonomiske verdien av en ekstra privat krone i denne regionen (for mennesker med et inntektsnivå som er typisk i regionen). Vi kan da beregne det samfunnsøkonomiske overskuddet per dag som:

$$SO = KO \cdot D + PO \cdot CF$$

Den optimale bomavgiften er fremdeles den som maksimerer det samfunnsøkonomiske overskuddet. Den kan finnes fra betingelsen

$$\frac{dSO}{dP} = \frac{dKO}{dP} \cdot D + \frac{dPO}{dP} \cdot CF = 0$$

Løsningen er

$$P^* = \frac{1}{2CF - D} [(d - C_K)(CF - D) + CF \cdot C_O]$$

For $CF=1,2$ varierer P^* med D på følgende måte:

Tabell 4: *Variasjoner i bomavgift hvis målet er å tilgodese en region spesifikt*

D	0,9	1	1,1	1,2
P^*	54,67	40	23,1	3,33

Vi kan her tolke utgangspunktet vårt som en situasjon hvor brua bygges i et distrikt hvor folks inntekt svarer til gjennomsnittsinntekten i samfunnet, $D=1$ og $P^*=40$. Hvis bruprojektet ligger i et distrikt hvor inntektsnivået er noe lavere og en inntektsøkning er verdt 10 % mer enn en tilsvarende inntektsøkning for folk med gjennomsnittsinntekt, $D=1,1$, vil den optimale bomavgiften være 23,1 kroner. Det vil si at skattebetalerne må ta en større del av regningen. Høyere inntektsnivå impliserer høyere bomavgift og omvendt. Men den optimale avgiften kan lett bli negativ, noe som neppe lar seg implementere.

Vi ser at dersom gevinster for brukerne har samme verdi som offentlige midler, det vil si dersom $D=CF$, skal skattebetalerne ta hele regningen knyttet til investeringer og brukeruavhengige kostnader.

I vedlegg 3 finnes en nærmere diskusjon av fordelingsvekter, basert på Squire og van der Tak (1976).

Referanser

- Brunstad, R og S. Vagstad, 2010. Veipricing mot køer og forurensing. *Sosialøkonomen*, 6, pp. 4-13.
- Finansdepartementet, 2005. *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*.
- Hagen, K. 2000. *Økonomisk politikk og samfunnsøkonomisk lønnsomhet*. Oslo: Cappelen Akademisk Forlag.
- Hagen, K., Pedersen, K. og Tveter, E., 2014. *Ringvirkninger fra samferdselsinvesteringer*. SNF Rapport nr. 2498.
- NOU 1997: 27. *Nytte-kostnadsanalyser. Prinsipper for lønnsombetsvurderinger i offentlig sektor*.
- Nordstrøm, C., 2011. *Behandling av bomavgifter i konseptvalgutredninger. I henhold til økonomisk teori?* Masteroppgave NHH.
- Odeck, J. og Braathen, S., 2007. Travel demand analyses and users attitudes: A case study of Norwegian toll projects. *Transportation Research Part A*, 42, pp. 77-94.
- Pedersen, K., 2012. *Brukeravgifter i samferdselssektoren – et velferdsteoretisk perspektiv*. SNF Arbeidsnotat nr. 8/12.
- Venables, A., 2007. Evaluating urban transport improvements. *Journal of Transport Economics and Policy*, 41 (2), pp. 173-188.
- Squire, L. og van der Tak, H.G., 1976. *Economic analysis of projects*. Baltimore: Hopkins University Press.

Vedlegg 1: Effektivitetstap

I hovedteksten ovenfor fant vi den optimale bomavgiften ved å maksimere det samfunnsøkonomiske overskuddet. Alternativt kan vi finne den som den bomavgiften som minimerer det samlede effektivitetstapet.

Det oppstår effektivitetstap knyttet til fortrenging av trafikk på den aktuelle veistrekningen straks bomavgiften avviker fra marginalkostnadene C_O (det vil si de marginalkostnadene som brukerne ikke internaliserer direkte, som ikke inngår i C_K). Dette tapet kan beregnes fra følgende formel (jfr. figur 1):

$$\begin{aligned} ET &= (P - C_O)[a - b(C_O + C_K) - (a - b(P + C_K))] \\ &= 5P^2 - 33.33P + 55.55 \end{aligned}$$

Effektivitetstapet reduseres når P øker fra 0 mot 3,33 (den brukeravhengige kostnaden for operatøren) for så å øke raskt når brukeravgiften øker ut over dette nivået.

Men på den annen side, gitt at alternativet til bompenger er generell skattefinansiering (som altså kreves inn gjennom vridende beskatning), gir operatørselskapets overskudd en effektivitetsgevinst knyttet til redusert beskatningsbehov i resten av økonomien, $PO \cdot (CF - 1)$, hvor PO er definert i (2a). Denne gevinsten vokser monotont med P så lenge økt P gir en økning i produsentoverskuddet og dermed en reduksjon i behovet for offentlige bevilgninger, dvs. så lenge P er lavere enn monopolprisen.

Netto effektivitetsgevinst knyttet til bompengereinnkrevningen gitt at alternativet er hundre prosent skattefinansiering, kan dermed beregnes som

$$NEG = PO \cdot (CF - 1) - ET$$

En bomavgift som gir et produsentoverskudd, bidrar til å redusere behovet for generell skattefinansiering. Det optimale bomavgiften er den som maksimerer NEG. Det er den P som bidrar til at effektivitetstapet for brukerne som forårsakes av en prisstigning på en krone er lik den effektivitetsgevinsten andre steder i økonomien som skyldes den reduserte skattebyrden forårsaket av den samme prisstigningen. Den kan finnes ved å sette den deriverte av NEG med hensyn på P lik null:

$$\frac{dNEG}{dP} = \frac{dPO}{dP} (CF - 1) - \frac{dET}{dP} = 0$$

Løsningen er rimeligvis akkurat den samme P^* som vi fant ovenfor i (5a) og (5b).

Vedlegg 2: Elastisitetenes betydning

Vi har i analysen ovenfor benyttet en punktelasticitet i utgangspunktet (langs den gamle kjøreruten) på -0,6 (hvor kostnaden er $G=120$ og trafikken er $X=2\ 000$) og forutsatt at etterspørselsfunksjonen og dermed brukernes betalingsvillighetsfunksjon er lineær. At etterspørselsfunksjonen er lineær, impliserer at elastisiteten reduseres i tallverdi når brukerkostnaden reduseres og trafikken øker; for eksempel vil den være $\eta = -b(G/X) = -10((100)/(2200)) = -0,45$ dersom den optimale avgiften $P=40$ benyttes. Benyttes monopolprisen $P=131,67$ derimot, har vi $\eta = -1,49$.

En elastisitet på -0,6 ligger svært nær Odeck og Bråthens (2007) anslag på den kortsiktige elastisiteten. På lenger sikt, gitt at brukerne får tid til å tilpasse seg bedre, vil elastisiteten være nærmere -0,8. Med en elastisitet i utgangspunktet på -0,8, vil den optimale bomavgiften være betydelig lavere enn i beregningene

ovenfor. Forklaringen er selvfølgelig at jo høyere tallverdi på elastisiteten, jo flere trafikanter fortrenses av en gitt avgift og jo større er effektivitetstapet.

Vedlegg 3: Fordelingsvekter

Squire og van de Tak (1976) gir en enkel innfallsvinkel til beregning av fordelingsvekter. Anta at alle har samme (indirekte) nyttefunksjon, hvor nytten er bestemt av inntekten, I :

$$U(I) = \frac{1}{1-n} (I)^{1-n} \text{ for } n \geq 0 \text{ og } n \neq 1$$

$$= \ln I \text{ for } n = 1$$

Grensenyttefunksjonen er dermed

$$MU(I) = (I)^{-n} \text{ for } n \geq 0$$

Parameteren n er her grensenytteelastisiteten, det vil si et mål på hvor mange prosent grensenytten av inntekt/konsum reduseres når inntekten/konsumet øker med 1 %. Den vil i denne sammenheng bli brukt som en slags aversjon mot ulikhet. Squire og van der Taks innfallsvinkel bygger på at gevinster og tap for ulike inntektsgrupper i samfunnet vektet med utgangspunkt i hvor de befinner seg i forhold til gjennomsnittsinntekten i samfunnet, I_a . Den vekten som skal tillegges en gevinst eller et tap på 1 krone for en person på et bestemt inntektsnivå I , sammenliknet med en tilsvarende gevinst eller et tilsvarende tap for en person med gjennomsnittlig inntektsnivå, kan da kalkuleres som

$$D_I = \frac{MU(I)}{MU(I_a)} = \left(\frac{I_a}{I}\right)^n$$

Forutsatt at $n \gg 0$ vil en gevinst eller et tap for personer som tjener mindre enn gjennomsnittet i samfunnet, tillegges en større vekt enn en tilsvarende endring for personer med gjennomsnittlig inntekt - og omvendt for personer som tjener mer. Hvor hardt inntektsforskjeller slår ut, bestemmes av grensenytteelastisiteten. Tabellen nedenfor illustrerer dette. Merk at for $n=0$ vil alle vektene være lik 1 og gevinster og tap vil telle likt for rike og fattige, noe som i prosjektsammenheng svarer til Hicks-Kaldor kriteriet, som fremstillingen i resten av del I bygger på.

	n=0	n=1	n=2
$\frac{I_a}{I} = 2$	1	2	4
$\frac{I_a}{I} = 1$	1	1	1
$\frac{I_a}{I} = 1/2$	1	1/2	1/4

Det vil ofte være av interesse å finne ut hvor lav inntekten må være før en inntektsendring for en person skal bli like verdifull som en inntektsendring for myndighetene (skattebetalerne), det vil si $D_1=CF$. Fra $\left(\frac{I_a}{I}\right)^n = CF$ kan vi finne

$$(I/I_a) = \frac{1}{CF^{1/n}}$$

noe som betyr, for $n=1$ og $CF=1,2$, at dersom den som tjener eller taper, har en inntekt på 83 % av gjennomsnittsinntekten, vil vedkommendes vekt være $D_1=CF=1,2$. Lavere (høyere) inntekt gir høyere (lavere) vekt. For $n=2$, er den tilsvarende inntekten 91 % av gjennomsnittsinntekten.

3 Del II Bomavgifter ved kødannelser (veipricing)

Kåre P. Hagen

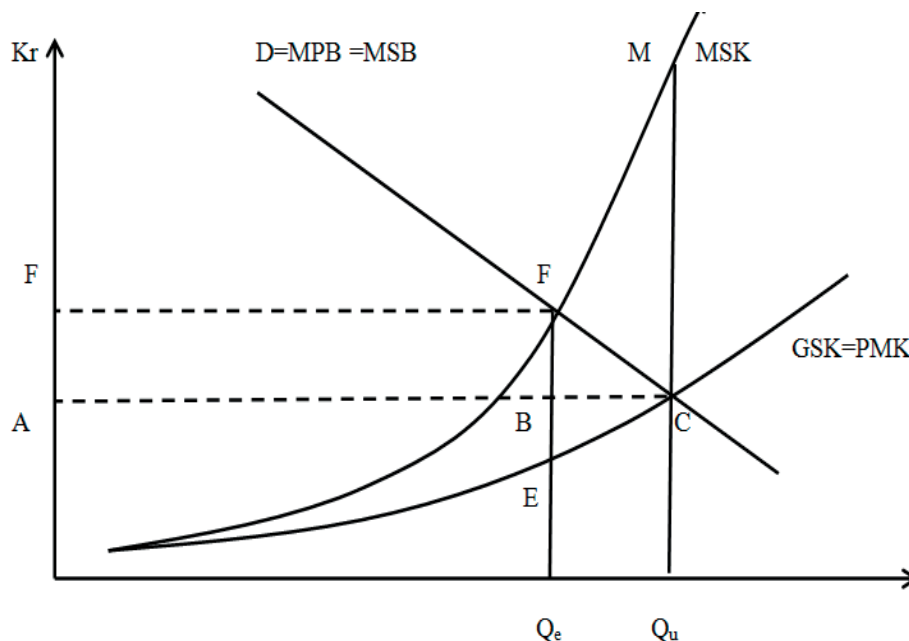
3.1 Innledning

Kostnaden for bruk av transportinfrastruktur inkluderer i første hånd kostnaden for den enkelte trafikant slik som utgifter til drivstoff og bilslitasje, samt verdien av tid som går med til transport og som inkluderes i generaliserte kjørekostnader. For bomavgiftbelagte veistrekninger kommer bomavgifter i tillegg.

Så lenge vi ser bort fra finansieringsspørsmålet (håndtert i del I), vil optimal pricing for bruk av veinettet innebærer at bomavgiften settes lik marginale eksterne kostnader. I denne delen har vi fokus på køkostnadene og ser bort fra andre typer eksterne virkninger. Når det er køer på veien, vil den enkelte trafikant påføre andre trafikanter et tidstap. Dette tidstapet vil vedkommende ikke ta hensyn til uten videre – det er en ekstern kostnad for vedkommende.

Forekomsten av køer skyldes at veikapasiteten er for liten i forhold til trafikken, gitt de eksisterende kjørekostnadene. Men det betyr ikke nødvendigvis at det vil være optimalt å investere seg helt ut av køproblemerkene. Det vil avhenge av gevinsten ved å eliminere de eksterne køkostnadene i forhold til investeringskostnadene. Det gjelder spesielt dersom køproblemerkene er knyttet til trafikktopper til visse tider av døgnet.

De underliggende insentivproblemer som fører til (for store) kødannelser er illustrert i nedenstående diagram.



Figur 3: Med kødannelse vil den samfunnsøkonomiske marginalkostnaden (MSK) være høyere enn den privatøkonomiske (PMK) og trafikken for høy (Q_u). En avgift som tvinger trafikantene til å internalisere differansen på FE kroner, gir optimalt trafikkvolum sett fra samfunnets side (Q_e)

I figuren representerer den horisontale aksene trafikkvolum, mens den vertikale aksene måler kjørekostnader og betalingsvillighet. Trafikantene er identiske bortsett fra at de har ulik marginal betalingsvillighet for å benytte veistrekningen. D representerer etterspørselskurven for trafikk og MPB og MSB står for hhv marginal privat og samfunnsøkonomisk betalingsvillighet for bruk av veien. Disse antas å være sammenfallende. GSK og PMK er hhv gjennomsnittlige samfunnsøkonomiske og private marginale kjørekostnader, mens MSK er marginale samfunnsøkonomiske kostnader. Q_e er det samfunnsøkonomisk effektive trafikkvolumet gitt ved at den marginale trafikanten har betalingsvillighet lik den marginale samfunnsøkonomiske kostnaden. Den enkelte trafikant opplever imidlertid kun den gjennomsnittlige kjørekostnaden som da blir privat marginalkostnad, slik at den blir lik marginal privat betalingsvillighet i en uregulert likevekt som gir trafikkvolumet Q_u . Den enkelte bilist har ikke noe insentiv til å ta innover seg de køkostnadene som blir påført de andre trafikantene som er inkludert i den marginale samfunnsøkonomiske kjørekostnaden MSK. Det uregulerte trafikkvolumet i likevekt vil da være Q_u . Trafikken utover det samfunnsøkonomisk effektive nivået medfører en samfunnsøkonomisk kostnad lik arealet (Q_u, M, F, Q_e), men gir en nytte lik arealet under etterspørselskurven fra Q_e til Q_u , dvs arealet (Q_u, C, F, Q_e). Dette gir et netto samfunnsøkonomisk tap lik arealet (M, F, D) som er den samfunnsøkonomiske køkostnaden. En bomavgift lik FE reduserer trafikkvolumet til det effektive nivået Q_e . Det kan være verdt å merke seg at det fortsatt vil være noe kø ved det samfunnsøkonomisk optimale trafikkvolumet.

Når bomavgifter innføres på bestemte veistreknings i et nettverk, vil det påvirke trafikken også andre steder i nettverket. Dette er analogt med beskatning av varer og tjenester ellers der beskatning av en vare kan føre til økt etterspørsel etter substitutter til den beskattede varen. Ved innføring av veiprising på deler av veinettet, vil trafikanter i noen grad velge omkjøringsmuligheter som ikke er avgiftsbelagte. Dette medfører både private og samfunnsøkonomiske kostnader, og et nyttetap for den enkelte bilist ved at vedkommende ledes over på imperfekte substitutter til den prefererte bomavgiftsbelagte strekningen. Dette gjelder uansett om bomavgiften er motivert ut fra eksterne virkninger på grunn av kødannelser, eller om avgiften er pålagt kun av fiskale hensyn.

I denne delen drøftes virkninger av bomavgifter i to ulike scenarier. Det ene scenarioet gjelder to eksempler på optimale kø-avgifter i trafikknettverk. Det andre scenarioet drøfter optimale kø-avgifter i situasjoner der redusert trafikk også kan medføre samfunnsøkonomiske kostnader ved at det kan ha negative produktivitetseffekter i arbeidsmarkedet.

3.2 Nest-best veiprising i transportnettverk med køer: Et eksempel med to alternative ruter mellom to steder

Et av de mest analyserte problemstillingene innenfor kø-prising omhandler optimale kø-priser i uni-modale nettverk der ikke trafikken i alle linkene i nettverket blir pålagt slike avgifter. Et eksempel på dette er ordninger med betaling for prioriterte filer på motorvei for å unngå bilkøer, som en har i USA. Mer generelt gjelder det at uansett om motivet for bomavgifter er kø-regulering eller kun å skaffe det offentlige inntekter, så vil det vanligvis gjelde bare deler av veinettet.

Vi ser først på det enklest tenkelige tilfellet som er valg mellom to parallelle kjøreruter fra A til B med gitt kapasitet, og der begge er gjenstand for trafikk-kø. Trafikken i en av disse rutene (B) er pålagt bomavgift, mens for den andre, (G), er kjøringen gratis. Trafikantene har lik betalingsvillighet for de to rutene, som innebærer samme verdsetting av tid og andre kjørerelaterte kostnader. Dette betyr at i utgangspunktet vil de to rutene være perfekte substitutter sett fra brukernes synspunkt. Siden kjørerutene er perfekte substitutter, vil de generaliserte kjørekostnadene (summen av tids- og kjøre-kostnader pluss eventuell bomavgift dersom den er pålagt) være like i likevekt³. Problemstillingen er da hva som bestemmer den optimale bomavgiften på den ruten som faktisk er avgiftsbelagt.

Det er nokså opplagt at den samfunnsøkonomisk nest-beste optimale avgiften gitt at det bare er trafikken i den ene ruten som kan avgiftsbelegges, vil være lavere enn i det første- beste tilfellet der begge rutene blir avgiftsbelagt. Den optimale avgiften

³ Dette går under betegnelsen Wardrop's first principle etter Wardrop (1951) Concept rapport nr. 42

vil også være lavere enn den marginale eksterne køkostnaden i rute B. Intuisjonen bak dette resultatet er følgende. Kø-avgiften på den avgiftsbelagte ruten fører til reduksjon i bilkøen på denne ruten. Men de trafikantene som finner avgiften for høy, vil nå velge den avgiftsfrie kø-belastede ruten, noe som fører til høyere kø-kostnader der. Den optimale avgiften blir da bestemt ved en avveining mellom gevinsten ved å redusere bilkøen på rute B mot kostnaden ved at de som går ut av køen på den avgiftsbelagte ruten, nå vil velge den avgiftsfrie – som dermed vil få en større kø og lavere fremkommelighet.

I det følgende utleder vi den optimale løsningen basert på en formell modell som bygger på Verhoef et al. (1996).

Fra et samfunnsøkonomisk synspunkt er, som nevnt, de to rutene å betrakte som perfekte substitutter. Vi kan da bygge på en felles etterspørselsfunksjon for transport mellom A og B gitt ved $D(N)$ der N er antall trafikanter, og $N = N_B + N_G$. De gjennomsnittlige brukerkostnader for de to gruppene er hhv c_G og c_B , og i henhold til Wardrops «first principle»⁴ må en optimal fordeling av trafikken på de to rutene innebære at gjennomsnitts-kostnaden pr trafikant på rute G i likevekt må være lik gjennomsnittskostnaden på rute B pluss bomavgiften, dvs. $c_G = c_B + \tau$ der τ er avgiften.

$D(n)$ betegner den inverse etterspørselsfunksjonen og uttrykker dermed den marginale betalingsvilligheten for transport mellom A og B når der er n trafikanter. Totalnyttens får vi da ved å integrere $D(n)$ opp til det totale antall trafikanter på de to rutene.

Den optimale bomavgiften på den avgiftsbelagte ruten finner vi ved å løse nedenstående optimeringsproblem⁵:

$$\begin{aligned} \text{Max } L = & \int_0^N D(n)dn - N_B \cdot c_B(N_B) - N_G \cdot c_G(N_G) \\ & + \gamma_B(D(N) - c_N(N_B) - \tau) + \gamma_G(D(N) - c_G(N_G)) \end{aligned}$$

der $N = N_B + N_G$, og trafikantenes kjørekostnader på de to rutene er avhengig av hvor mange som benytter ruten.

⁵ Se også Verhoef m.fl. 1996

De to bibetingelsene med skyggepriser γ_B og γ_G sikrer at løsningen er individuelt optimal for de to brukergruppene ved at den marginale betalingsvilligheten for transport er lik den gjennomsnittlige kjørekostnaden for trafikantene på begge rutene.

Første-ordens betingelsene for et samfunnsøkonomisk optimum er gitt ved

$$(1) \quad \frac{\partial L}{\partial N_B} = D(N) - c_B(N_B) - N_B \cdot c'_B(N_B) + \gamma_B (D'(N) - c'_B(N_B)) + \gamma_G D'(N) = 0$$

$$(2) \quad \frac{\partial L}{\partial N_G} = D(N) - c_G(N_G) - N_G \cdot c'_G(N_G) + \gamma_G (D'(N) - c'_G(N_G)) + \gamma_B D'(N) = 0$$

$$(3) \quad \frac{\partial L}{\partial t} = -\gamma_B = 0$$

$$(4) \quad \frac{\partial L}{\partial \gamma_B} = D(N) - c_B(N_B) - \tau = 0$$

$$(5) \quad \frac{\partial L}{\partial \gamma_G} = D(N) - c_G(N_G) = 0$$

Siden $\gamma_B = 0$ har vi fra (4) og (1) at $\tau = N_B \cdot c'_B(N_B) - \gamma_G D'(N)$.

Hvis vi løser for γ_G fra (2) og setter inn i uttrykket over for τ og benytter bibetingelsen, $D(N) - c_G(N_G) = 0$ får vi et uttrykk for optimal τ :

$$(6) \quad \tau^* = N_B \cdot c'_B(N_B) - N_G \cdot c'_G(N_G) \left(\frac{-D'(N)}{c'_G(N_G) - D'(N)} \right)$$

Dette er et nest-beste optimum siden det bare er trafikantene på den ene ruten mellom A og B som blir avgiftsbelagt. Det første leddet i (6) er den marginale eksterne køkostnaden på rute B i den nest-beste løsningen. Det er den marginale trafikantens bidrag til kostnaden på denne ruten. Det andre leddet viser at som følge av avgiften på den avgiftsbelagte ruten, skal en også ta hensyn til at en del av trafikken vil gå over på den avgiftsfrie ruten og bidra til økte kostnader der.

Den første-beste løsningen er hvor hver rute avgiftsbelegges separat. Den optimale avgiften er gitt ved køkostnaden som den marginale bilisten påfører alle trafikantene på ruten. Dersom $\hat{\tau}_i$ er den optimale avgiften når begge ruter avgiftsbelegges separat, har vi at

$$\hat{\tau}_i = N_i \cdot c'_i(N_i) ,$$

for $i = B, G$ - dvs at avgiften settes lik den eksterne marginale køkostnaden på hver av de to rutene.

Vi lar $mek_i = N_i \cdot c'_i(N_i)$ stå for den marginale eksterne køkostnaden på rute $i = B, G$.

Vi har da at optimal nest-best kø-avgift er gitt ved

$$\tau^* = mek_B - mek_G \cdot \frac{-D'(N)}{c'_G(N_G) - D'(N)}$$

Den er lik de direkte marginale eksterne køkostnadene på den avgiftsbelagte ruten minus en andel av de marginale eksterne køkostnaden på ruten uten bomavgift, siden $D' < 0$ da etterspørselskurven er fallende og brøken derfor må være mellom 0 og 1.

I hvilken grad den optimale avgiften på den avgiftsbelagte ruten også skal reflektere den marginale eksterne kostnaden på ruten uten avgift, avhenger av c'_G som viser den marginale kø-kostnaden der, og størrelsen på den deriverte D' , som viser brattheten på etterspørselskurven for transport og dermed hvor følsom etterspørselen er med hensyn på kø-prisen. Vi ser at brøken er 0 dersom enten $c'_G = \infty$, eller $D' = 0$. $c'_G = \infty$ impliserer at den marginale eksterne kø-kostnadskurven er fullstendig uelastisk ved at den er uavhengig av trafikkstørrelsen. Likeledes innebærer $D' = 0$ at trafikken på den avgiftsfrie ruten er perfekt priselastisk. Det impliserer at uansett avgift, vil kapasiteten på den avgiftsfrie ruten være utnyttet inntil netto nytten for den marginale trafikanten er lik null, dvs. N_G er bestemt ved at $c_G(N_G) = D(N_G)$. Dette impliserer at

$\tau^* = mek_B$ siden trafikken på den avgiftsbelagte ruten ikke har konsekvenser for trafikken og kø-kostnadene på den avgiftsfrie.

Motsatt har vi at hvis $D' < 0$, er brøken lik 1 dersom $D' = -\infty$ eller $c'_G = 0$. I dette tilfellet er optimal bomavgift gitt ved $\tau^* = mek_B - mek_G$. I tilfellet $D' = -\infty$, er samlet etterspørsel fullstendig uelastisk (dvs. vertikal etterspørselskurve), slik at samlet trafikk på de to kjørerutene er gitt. Optimal kø-avgift bør da bestemmes slik at fordelingen av trafikken på de to rutene blir optimalisert. Det innebærer at det er forskjellen i køkostnader mellom den avgiftsbelagte og avgiftsfrie ruten som bør internaliseres gjennom kø-avgiften.

$c'_G = 0$ betyr at den eksterne kø-kostnaden på den avgiftsfrie ruten er uavhengig av antall trafikanter. De som prises ut av den avgiftsbelagte ruten, vil da svitsje over til den avgiftsfrie. Også i dette tilfellet vil problemstillingen være å få en optimal fordeling av trafikken slik at den optimale avgiften er gitt ved differansen mellom de marginale kø-kostnadene, dvs. $\tau^* = mek_B - mek_G$. Det følger av dette at dersom ruten uten bomavgift er ekstra kø-utsatt, kan den optimale bomavgiften på den avgiftsbelagte ruten være negativ, noe som innebærer en subsidiering for å avlaste ruten uten bomavgift. Men det ligger da i sakens natur at dette vil være en svært ineffektiv nest-best løsning da en bomavgift på den mest trafikkbelastede ruten vil være en mer målrettet løsning.

Dersom totaltrafikken mellom A og B er fullstendig prisuelastisk, vil bomavgiften bare ha betydning for hvordan den fordeler seg mellom de to rutene. I dette tilfellet trengs det bare ett virkemiddel i form av én bomavgift for å få realisert en effektiv fordeling av trafikken på de to rutene.

Ulike tidsverdier vil også kunne ha en sorteringseffekt på veivalget. Trafikanter med høye tidsverdier kan velge den avgiftsbelagte ruten dersom det er mindre trengsel og bedre fremkommelighet der sammenlignet med den avgiftsfrie ruten, som da kan få kø og trafikanter med lavere tidsverdier som derfor er mindre opptatt av kjøretiden. I mer omfattende nettverk der noen linker er avgiftsbelagt mens andre er gratis, vil de optimale bomavgiftene bli mer kompliserte da vektene til de marginale eksterne kostnadene vil avhenge av flere forskjellige kostnads- og etterspørselstettheter. Det grunnleggende prinsippet for optimale avgifter er likevel de samme. I tillegg til virkningen for eksterne kø-kostnader i den avgiftsbelagte delen av nettet, skal den optimale avgiften i tillegg inkludere nettoeffekten på eksterne køkostnader i de deler av nettet der trafikken berøres av avgiften.

3.3 Køer og optimale bomavgifter: Eksempel med to ruter med endogen veikapasitet og som er imperfekte substitutter⁶

Vi ser fortsatt på to alternative ruter mellom A og B der disse nå er imperfekte substitutter og gjenstand for kø-prising. Vi antar at de på kort sikt har gitt kapasitet, men på lengre sikt kan de være gjenstand for tilpasning ved investeringer i økt kapasitet. Vi har da fire beslutningsvariable: bomavgifter og investeringer i økt kapasitet for de to rutene. Imperfekte substitutter innebærer at prisdifferanser knyttet til bruk av alternative ruter, ikke nødvendigvis fører til at alle trafikantene i fravær av køkostnader vil ønske å svitsje fra den ene til den andre ruten. Forskjeller

⁶ Dette er grundig drøftet i Rouwendal og Verhoef (2003) Concept rapport nr. 42

i betalingsvillighet med hensyn til rutevalg kan f.eks. skyldes at det er lettere tilgang til én av rutene.

Den offentlige planleggeren har som målsetting å maksimere samfunnsøkonomisk overskudd fra trafikken på de to rutene. Det består av samlet konsumentoverskudd pluss inntekter fra bomavgifter fratrukket kostnadene for investering og vedlikehold av infrastrukturen, dvs.

$$SO = KO + TA - C$$

SO = samfunnsøkonomisk overskudd,

KO = konsumentoverskudd

TA = totalt avgiftsbeløp fra bomavgifter

C = kapasitetskostnader inklusive vedlikehold

$C = C_1(k_1) + C_2(k_2)$ er infrastrukturkostnader knyttet til investeringer i kapasitet på de to rutene der k_i er investering i kapasitet på rute i .

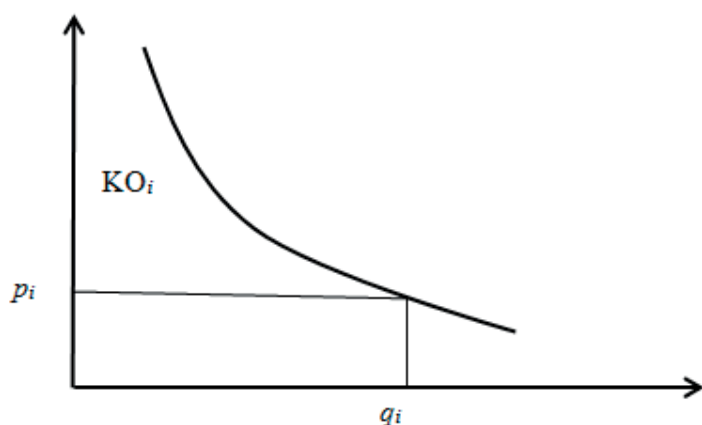
p_i er private kjørekostnader eksklusive bomavgift

q_i er antallet trafikanter per tidsenhet som velger ruten i .

Totalt konsumentoverskudd vil normalt være forskjellig fra summen av de to konsumentoverskuddene beregnet hver for seg, da de i dette tilfellet blir kalkulert på grunnlag av to forskjellige etterspørselsfunksjoner (siden de to rutene er imperfekte substitutter). Dette skyldes at etterspørselen etter transport på de to rutene vil være gjensidig avhengig ved at når prisen på den ene ruten endres, vil det påvirke etterspørselen også etter den andre. Men hvis etterspørselen etter begge rutene er uavhengig av inntekt, vil totalt konsumentoverskudd være entydig gitt ved summen av konsumentoverskuddene fra trafikken på de to rutene⁷.

Sammenhengen mellom konsumentoverskudd og private kjørekostnader er skissert i nedenstående figur.

⁷ Se for eksempel Varian (1978)



Figur 4: Sammenhengen mellom konsumentoverskudd og kjørekostnader på rute i .

I figuren står p_i for private kjørekostnader og q_i for antall turer på rute i .

$$\text{Vi har da at } q_i = - \frac{\partial KO_i}{\partial p_i}, \quad i = 1, 2$$

der q_i kan tolkes som antall kjøreturer mellom A og B på rute i .

Vi lar τ_i betegne bomavgifter som må multipliseres med totalt antall kjøreturer mellom A og B for å få samlet inntekt fra bomavgiften. Det betyr at total inntekt fra bomavgifter er gitt ved

$$TA = \tau_1 q_1 + \tau_2 q_2$$

der TA står for totalt avgiftsbeløp.

Infrastrukturkostnadene avhenger av kapasiteten:

$$C = C_1(k_1) + C_2(k_2)$$

Analysen forutsetter at trafikkapasiteten kan endres kontinuerlig.

Likevektbetingelsen for de to rutene er bestemt ved at betalingsvilligheten, p_i , som gitt ved den inverse av etterspørselsfunksjonen, er lik den private brukerkostnaden c_i , som avhenger av veikapasitet og antall bilister som velger den aktuelle ruten, samt bompengesatsen. Dvs.

$$(6) \quad p_i = c_i(k_i, q_i) + \tau_i, \quad i = 1, 2$$

der k_i er kapasitet og q_i trafikk gitt ved totalt antall kjøreturer.

Private kjørekostnader er avhengig av kjøretiden. Kjøretid vil generelt være avhengig av forholdet mellom veikapasitet og trafikk. Det er vanlig å anta at dersom veikapasitet og trafikk øker med samme faktor, vil kjøretiden være uendret. Formelt kan dette formuleres ved at den private kjørekostnaden er homogen av grad 0 i kapasitet og totalt antall brukere. Generelt er funksjonen $\bar{p}_i = c_i(k_i, q_i)$ homogen av grad h dersom $\lambda^h \bar{p}_i = c_i(\lambda k_i, \lambda q_i)$ for $\lambda > 0$. Homogenitet av grad 0 betyr da at $\bar{p} = c_i(\lambda k_i, \lambda q_i)$ for alle $\lambda > 0$.

Dette impliserer at dersom veikapasiteten og antall trafikanter dobles, vil den private kjørekostnaden være uendret. Den underliggende forutsetningen er da at dersom antall trafikanter og trafikkkapasitet endres i samme takt, vil dette ikke påvirke framkommeligheten på veien. Et eksempel på dette er at veien utvides fra ett til to kjørefelt dersom trafikken fordobles, og homogenitet av grad 0 betyr at dette ikke vil endre kjøretider og kjørekostnader.

Først-best løsning for dette problemet består av de to bomavgiftene og kapasiteten på de to rutene som maksimerer samfunnsøkonomisk overskudd, gitt restriksjonen at det representerer en likevekt i den forstand at de tilfredsstiller betingelsen (6) som uttrykker at i likevekt er trafikantenes betalingsvillighet lik de private kjørekostnadene inklusive veiavgiften.

Formelt kan løsningen karakteriseres ved å maksimere Lagrangefunksjonen til optimeringsproblemet med tilhørende restriksjoner formulert som

$$\begin{aligned} L &= KO_1 + KO_2 + TA_1 + TA_2 - C_1(k_1) - C_2(k_2) + \gamma_1(p_1 - c_1 - \tau_1) + \gamma_2(p_2 - c_2 - \tau_2) = \\ &= \sum_i \left(\int_{p_i}^{\infty} q_i(\tilde{p}) d\tilde{p} + \tau_i q_i(p_i) - C_i(k_i) + \gamma_i(p_i - c_i(k_i, q_i(p_i))) - \tau_i \right) \end{aligned}$$

I det ovenstående optimeringsproblemet er q_i er antall turer på rute i mens \tilde{p} er en integrasjonsvariabel for den private kjørekostnaden.

Vi ser det ligger inne som en restriksjon at de to rutene trafikkeres inntil trafikantenes betalingsvillighet er lik de private kostnadene som definerer likevekten på de to rutene.

Førsteordens betingelsene for optimum mhp. $p_i, \tau_i, k_i, i = 1, 2$ gir

$$(7) \quad \frac{\partial L}{\partial p_1} = -q_1 + \tau_1 \frac{\partial q_1}{\partial p_1} + \tau_2 \frac{\partial q_2}{\partial p_1} + \gamma_1 \left(1 - \frac{\partial c_1}{\partial q_1} \frac{\partial q_1}{\partial p_1} \right) + \gamma_2 \left(-\frac{\partial c_2}{\partial q_2} \frac{\partial q_2}{\partial p_1} \right) = 0$$

$$(8) \quad \frac{\partial L}{\partial p_2} = -q_2 + \tau_1 \frac{\partial q_1}{\partial p_2} + \tau_2 \frac{\partial q_2}{\partial p_2} + \gamma_1 \left(1 - \frac{\partial c_1}{\partial q_1} \frac{\partial q_1}{\partial p_2} \right) + \gamma_2 \left(1 - \frac{\partial c_2}{\partial q_2} \frac{\partial q_2}{\partial p_2} \right) = 0$$

$$(9) \quad \frac{\partial L}{\partial \tau_i} = q_i - \gamma_i = 0, \quad i = 1, 2$$

$$(10) \quad \frac{\partial L}{\partial k_i} = -\frac{\partial C_i}{\partial k_i} - \gamma_i \frac{\partial c_i}{\partial k_i} = 0, \text{ slik at } \frac{\partial C_i}{\partial k_i} = -\gamma_i \frac{\partial c_i}{\partial k_i}, \quad i = 1, 2$$

$$(11) \quad \frac{\partial L}{\partial \gamma_i} = p_i - c_i(k_i, q_i(p_i)) - \tau_i = 0, \quad i = 1, 2$$

I et første-beste optimum er alle optimumsbetingelsene oppfylte. I en nest-best situasjon er én eller flere av førsteordens betingelsene ikke oppfylte.

Likevekstbetingelsen (6) vil imidlertid alltid være oppfylt i en trafikklikevekt.

Betingelse (9) karakteriserer optimale bomavgifter for de to rutene. Vi ser at optimal bomavgift er gitt ved at skyggeprisen som er lik antall trafikanter som trafikkerer strekningen i optimumsløsningen. Betingelse (10) karakteriserer optimal investering i kapasitet på de to rutene der optimum er gitt ved at de marginale kostnader for investering i kapasitet er lik kostnadsbesparelsen for trafikantene siden γ_i er antall trafikanter på rute i .

Fra betingelse (9) kan skyggeprisene i (7) og (8) elimineres. Det gir

$$(12) \quad \left(\tau_1 - q_1 \frac{\partial c_1}{\partial q_1} \right) \frac{\partial q_1}{\partial p_1} + \left(\tau_2 - q_2 \frac{\partial c_2}{\partial q_1} \right) \frac{\partial q_2}{\partial p_1} = 0$$

$$(13) \quad \left(\tau_1 - q_1 \frac{\partial c_1}{\partial q_1} \right) \frac{\partial q_1}{\partial p_2} + \left(\tau_2 - q_2 \frac{\partial c_2}{\partial q_1} \right) \frac{\partial q_2}{\partial p_2} = 0$$

En tilstrekkelig betingelse for optimal bomavgift er at

$$\left(\tau_1 - q_1 \frac{\partial c_1}{\partial q_1} \right) = \left(\tau_2 - q_2 \frac{\partial c_2}{\partial q_1} \right) = 0$$

som betyr at den optimale avgiften er lik den eksterne kø-kostnaden på de to rutene.

Ved innsetting for $q_i = \gamma_i$ i betingelse (10) får vi

$$(14) \quad \begin{aligned} \frac{\partial C_1}{\partial k_1} &= -q_1 \frac{\partial c_1}{\partial k_1} \\ \frac{\partial C_2}{\partial k_2} &= -q_2 \frac{\partial c_2}{\partial k_2} \end{aligned}$$

Betingelse (14) viser at marginalkostnaden for kapasitetsutvidelse i optimum skal være lik marginal nytte uttrykt ved marginal reduksjon i kjørekostnadene for hver rute.

Vi har antatt at de private kjørekostnadene (eksklusiv bompenger) ikke endres ved en proporsjonal økning (reduksjon) i veikapasitet og trafikk.

Fra Eulers teorem om homogene funksjoner har vi da for homogenitet av grad null

$$(15) \quad k_i \frac{\partial c_i}{\partial k_i} + q_i \frac{\partial c_i}{\partial q_i} = 0, \quad i = 1, 2$$

Fra (10) og (15) får vi

$$(16) \quad k_i \frac{\partial C_i}{\partial k_i} = \gamma_i q_i \frac{\partial c_i}{\partial q_i}$$

I tilfellet med konstant skalautbytte for investeringer i kapasitet, vil grensekostnaden ved å investere i økt kapasitet, $\partial C_i / \partial k_i$, være konstant og lik gjennomsnittskostnaden. Venstresiden av (16) er dermed et uttrykk for de totale kapasitetskostnadene for rute i . Høyresiden av (16) er skyggeprisen γ_i multiplisert med den marginale eksterne køkostnaden på rute i . I et første beste optimum er denne skyggeprisen lik antall trafikanter slik at høyresiden av (16) er totale marginale køkostnader i optimum.

I et første beste optimum der bompengavgiften settes lik den marginale kø-kostnaden, vil inntektene fra kø-prisingen dekke kapitalkostnadene ved å investere i kapasitet. En første beste optimal løsning med hensyn til kapasitetstilpasning og kø-prising vil følgelig være selvfinansierende i den forstand at den dekker investeringskostnadene.

Konstant skala-utbytte i veibygging og konstante gjennomsnittlige vedlikeholdsutgifter innebærer at totale kostnader er proporsjonal med kapasiteten. Gjennomsnittlig kjøretid er gitt ved forholdet mellom trafikkvolum og trafikk-kapasitet. Konstant skalautbytte på trafikksiden kan da tolkes som at kjøretiden bare avhenger av forholdet mellom trafikkvolum og kapasitet. Optimal kapasitet har vi der betalingsvilligheten til en marginal trafikant dekker kapitalkostnaden knyttet til økt kapasitet og bidraget til køkostnaden. Nobelprisvinneren Vickrey har argumentert overbevisende for at trafikkproblemene knyttet til biltrafikk i byer bare kan løses ved bruk av prismekanismen, som i dette tilfelle ville bety kø-prising basert på grensekostnadsprinsippet hvor både kø-kostnader på kort sikt og kapasitetskostnader på lang sikt inngår. Ikke bare vil dette føre til effektiv bruk av knappe ressurser, men vil også som et biprodukt på lang sikt føre til at veimyndighetene får dekket inn kostnadene.

En alternativ betraktningssmåte for å utlede optimale investeringer i veikapasitet, er å avstemme investeringene i transportkapasitet mot trafikantenes ønsker om å spare reisetid som reflekteres i tidskostnadene⁸. Ved å minimere av summen av disse to kostnadskomponentene får vi fram en trade-off mellom dem som vil avhenge av investeringene i kapasitet. Ved å variere kapasiteten vil en få en gjennomsnittskostnadskurve for kapasitet, og optimal kapasitet er bestemt ved skjæringspunktet mellom gjennomsnittskostnadskurven på investeringsiden og etterspørselskurven på trafikantsiden.

Resultatet om at optimale investeringer i veiinfrastruktur kan være selvfinansierende, går i litteraturen under betegnelsen Mohrings og Harwitz's teorem⁹. I den opprinnelige versjonen gjaldt det for et såkalt første-beste optimum som innebærer at alle relevante trafikkrelaterte karakteristika er tilpasset optimalt. Det bygget på følgende forutsetninger:

- (i) Optimale valg av bomavgift og veikapasitet
- (ii) Konstant skalautbytte med hensyn på investeringer i veikapasitet
- (iii) De private kjørekostnadene avhenger kun av fremkommelighet på veien som reflekteres ved forholdet mellom trafikkkapasitet og antall

⁸ Se Hau (1998) for en mer utfyllende diskusjon av dette.

⁹ Mohring og Harwitz (1962)

trafikanter. (Homogene kjørekostnader av grad null i trafikkvolum og kapasitet)

- (iv) Full delelighet når det gjelder veinvesteringer slik at veikapasiteten er gjenstand for kontinuerlig tilpasning.

I tillegg ble det i den opprinnelige versjonen antatt at trafikantene er identiske med hensyn på trafikkrelaterte kostnadsforhold.

3.4 Generalisering av Mohring-Harvitz resultatet om køprising og selvfinansierende veiprojekter

Ulike trafikantene har forskjellig verdsetting av tid

Resultatet om selvfinansiering er blitt generalisert i flere henseende. Strotz (1964) og Mohring (1970) har vist at selvfinansieringsresultatet også gjelder for prosjekter med trafikanter som har ulik verdsetting av tid. I stedet for at optimal bomavgift blir basert på den marginale tidsverdien til en vilkårlig (representativ) trafikant, blir den i dette tilfellet basert på et veiet gjennomsnitt av de ulike trafikanters verdsetting av tid der vektene er antall turer i løpet av perioden for dem som fortsatt bruker veien etter at bomavgiften er pålagt. Dersom en trafikants verdsetting av tid og bruk av veien er nært det veiede gjennomsnittet, vil han være villig til å betale denne avgiften. Dersom trafikantens tidsverdi er høyere enn gjennomsnittet, er han villig til å betale mer enn gjennomsnittlig avgift, og omvendt dersom trafikantens verdsetting er lavere. Mekanismen er den samme som med identiske trafikanter, men med den forskjell at konstante tidsverdier erstattes av veide gjennomsnitt og bomavgiften blir følgelig også et veiet gjennomsnitt. Når bomavgiften baseres på et veiet gjennomsnitt, vil noen ha tidsverdier som er høyere enn avgiften og andre vil ha tidsverdier som er lavere. En trafikant som har en tidsverdi som er høyere enn det veiede gjennomsnittet, vil oppleve en nyttegevinst, mens en trafikant med lavere tidsverdi vil få et nyttetap. Begge vil imidlertid benytte veien dersom verdsetting av kjøreturen overstiger den generaliserte reisekostnaden.

Når trafikanter med varierende tidsverdier må betale samme avgift, vil de med høye tidsverdier få en større nytte fra bruken av veien enn dem med lavere tidsverdier. De med de laveste tidsverdiene, vil også kunne bli priset ut av veien hvis de i utgangspunktet har høye private reisekostnader. Dette er ikke en svakhet med veipricing i og for seg, men er et eksempel på hvordan markedsmekanismen virker under frikonkurransen mer generelt. Frikonkurransen må i denne konteksten tolkes som at alle trafikanter har adgang til bomveien på like vilkår ved at de betaler en kø-avgift som ikke påvirkes av den enkeltes bruk. Dette svarer til antakelsen om prisfast tilpasning i frikonkurransmodellen. Generelt har vi da at

når alle betaler samme pris for en tjeneste, vil de med den høyeste subjektive verdsettingen av tjenesten oppleve et høyere konsumentoverskudd enn dem med lavere verdsetting, og de med en verdsetting som er lavere enn markedsprisen, vil droppe ut av markedet.

Med ulike tidsverdier og bomavgift basert på et veid gjennomsnitt av kapasitets- og kø-kostnader, og konstant skala-utbytte med hensyn til kapasitetsutvidelser samt homogene gjennomsnittskostnader som funksjon av kapasitet og trafikk, vil optimale bomavgifter basert på gjennomsnittlige tidsverdier føre til at samfunnsøkonomisk lønnsomme prosjekter er finansielt bærekraftige i den forstand at de kan finansieres ved bompenger.

Variierende etterspørsel over tid.

Med varierende etterspørsel over tid vil marginalkostnadsprising og en gitt trafikkapasitet føre til at trafikk-køer varierer over tid slik at kø-prising i form av bom-avgift vil være optimalt i perioder med stor trafikk men ikke i perioder med ledig trafikk-kapasitet. Inntektene fra kø-prising kan her betraktes som en kvasi-rente som tilfaller den faste faktoren veikapasitet, men innkreves bare i de perioder veikapasiteten er knapp. Prosjektet er lønnsomt dersom samlet kvasi-rente over prosjektets levetid dekker kapitalkostnaden knyttet til kapasiteten. Dette er samme type problem som ble drøftet innledningsvis, og under de samme forutsetningene vil kvasi-renten dekke investeringskostnadene for lønnsomme investeringer slik at de er selvfinansierende. Dersom trafikken varierer over døgnet, innebærer det at det er de som reiser i rush-tiden, som vil måtte bære infrastrukturkostnadene. Dette blir også kalt for topp-last prising (peak-load pricing)¹⁰, Investeringskriteriet blir i denne sammenhengen at ved konstant skalautbytte på investeringssiden skal kapasiteten økes inntil summen av kvasi-renten dekker totale kapasitetskostnadene over prosjektets levetid¹¹.

3.5 Udelelighet og ikke-konstant skalautbytte

Utledningen av selvfinansieringsproblemet ble basert på en forutsetning om kontinuerlig tilpasning av veikapasitet. Vei-investeringer er imidlertid kjennetegnet med en betydelig grad av udelelighet. Det er standarder for hvor bred kjørebane må være og spørsmålet om et eller flere kjørefelt er et diskret beslutningsproblem. Med perfekt delbarhet vil den langsiktige gjennomsnittskostnadskurven for veikapasitet være gitt ved omhyllingen av et kontinuum av kortsiktige gjennomsnittskostnadskurver som følge av en kontinuerlig variasjon av kapasiteten. Med udelelighet vil den langsiktige gjennomsnittskostnadskurven bestå

¹⁰ Jf. Boiteux (1960).

¹¹ Keeler & Small (1977) viser hvordan Mohring-Harwitz resultatet kan generaliseres til tilfeller med variabel kapasitetsutnyttning over tid.

av en serie med kortsiktige kurver svarende til diskrete karakteristika ved prosjektet som f.eks. antall veibaner, ulike kvaliteter av asfalt, o.l.

Hau (1996) argumenterer for at det er faktorer som trekker i retning av økende skalautbytte i veibygging på landsbygda. En viktig grunn for dette er at det er større arealer tilgjengelig ute i distriktene i forhold til i større byer. En vei med to kjørefelt krever minimum fire meter for hvert felt og i tillegg areal for veiskulder og drenering. En ikke ubetydelig del av arealkravet er dermed uavhengig av antall kjørefelt og følgelig en fast kostnad. En dobling av veibredden vil da i en tofelts vei føre til en fire- dobling av trafikk-kapasiteten mens kostnadene knyttet til veiskulder og drenering vil være omtrent de samme. I byer kan det argumenteres for at en har avtakende skalautbytte for investeringer i veikapasitet. En grunn til det er at knappheten på, og verdien av land, er høyere enn på landsbygda. Under perfekt delelighet vil det være optimalt å investere så lenge marginalnyttens fra prosjektet er større enn de marginale investeringskostnadene. Men med udelelige investeringer brytes denne linken mellom marginal netto nytte og samfunnsøkonomisk lønnsomhet. En lønnsom investering kan gi et finansielt tap og vise versa.

Ved ikke-konstant skala-utbytte vil følgelig Mohring og Harwits's resultat om at lønnsomme samfunnsøkonomiske veiinvesteringer vil være selvfinansierende ikke nødvendigvis være riktig. I slike tilfelle vil lønnsomhetsbetraktningen måtte baseres på en ordinær nytte-kostnad analyse.

3.6 Optimal kø-prising med agglomerasjonsgevinster fra veiinvesteringer

Veiinvesteringer vil i mange sammenhenger ha positive eksterne effekter for økonomien utover de gevinstene som tilfaller veibrukerne i snever forstand i form av tidsbesparelser og mer komfortable og sikrere kjøreforhold. En viktig kilde til slike ringvirkninger er at reduserte kjøretider fører til større og tettere integrerte arbeidsmarkeder, og det foreligger empirisk basert dokumentasjon for at innenfor visse grenser vil mer integrerte og tettere arbeidsmarkeder føre til økt arbeidsproduktivitet og verdiskaping.¹² Denne merverdien skapes av interaksjon mellom markedsaktørene utenfor det etablerte arbeidsmarkedet og blir derfor ikke internalisert av markedsaktørene. Det vil derfor ha karakter av en positiv ekstern virkning. Som påpekt av Arnott (2007), dersom økt pendling skaper økt verdiskaping ved at det fører til økt produktivitet, vil en liten reduksjon i kø-prisen i forhold til den optimale kø-prisen når slike eksterne effekter ikke hensyntas, føre til en første-ordens velferdsgevinst ved at det øker størrelsen på det lokale

¹² Se for eksempel Hagen et al. (2014)

arbeidsmarkedet og en negativ andre-ordens effekt som følge av økt trafikk-kø. Evaluert i utgangssituasjonen vil imidlertid den negative kø-effekten være neglisjerbar. Den optimale kø-avgiften vil derfor være lavere enn den kø-avgiften som er optimal når slike eksterne ringvirkninger ikke tas hensyn til. Den optimale kø-avgiften vil bli bestemt ved en avveining mellom verdien av tidsbesparelser som følge av redusert bilkø mellom arbeidsstedet og arbeidsplassen og reduserte agglomerasjonsgevinster ved at det vil redusere pendlingen i arbeidsmarkedet.

Vi gjengir her hovedstrukturen i Arnotts modell. For å sette problemstillingen på spissen antas det at bosted og arbeidssted er lokalisert på hver sin øy som knyttes sammen med en bro, slik at arbeidsdeltagelse forutsetter pendling. På bostedet bor N identiske arbeidere karakterisert med en strengt konkav nyttefunksjon definert på materielt konsum c og fritid l gitt ved $U(c, l)$. Normert arbeidstid pr arbeidsdag er gitt ved T og arbeiderne bestemmer arbeidstilbudet gitt ved X arbeidsdager i året. Arbeiderne står overfor et tidsbudsjett gitt ved at tid benyttet til arbeid og pendling pluss fritid må summere seg til totalt tilgjengelig tid. Dersom Y er total disponibel tid i dager pr år, X er totalt antall arbeidsdager pr arbeider og L er fritid, T og t er hhv arbeidstid og pendlertid pr dag, vil tidsbudsjettet for den enkelte være gitt ved $Y - (T+t)X - L = 0$. Det vil imidlertid være hensiktsmessig å regne pr dag slik at tidsbudsjettet er gitt ved $1 - (T+t)x - l$ der $x = X/Y$ og $l = L/Y$

Bosted og arbeidssted er knyttet sammen med en bro- og veiforbindelse som har en gitt kapasitet, og biltrafikken gjelder kun pendling til og fra arbeid. Kjøretiden tur-retur arbeidsstedet er avhengig av biltrafikken. For øvrig fører ikke biltrafikken til ressurskostnader.

Total sysselsetting per dag er gitt ved H og total produksjon per dag er $F(H)$, med $F' > 0$ og $F'' < 0$ som innebærer stigende skala-utbytte. Det stigende skala-utbyttet er en ekstern virkning for den enkelte bedrift slik at en bedrift som har en sysselsetting gitt ved h normerte arbeidsdager, vil oppfatte seg som om den står overfor en produktfunksjon gitt ved $[F(H)/H]h$ der gjennomsnittsproduktiviteten tas som gitt. I et numerisk eksempel antas det at $F(H) = kH^\alpha$ der k og α er positive konstanter. En bedrift som har en sysselsetting på h normerte arbeidsdager, vil oppfatte sin produktfunksjon som gitt ved $(GP)h$ der GP står for arbeidets gjennomsnittsprodukt gitt ved $GP = kH^{\alpha-1}$, og marginalproduktet er gitt ved $\alpha kH^{\alpha-1}$.

Frikonkurranselikevekt

Vi kan nå karakterisere en frikonkurranselikevekt for denne modellen. Alle arbeidere er like. Da skala-fordelene er eksterne i forhold til den enkelte bedrift, vil frikonkurranse innebærer at lønn pr arbeidsdag er konstant og gitt ved w som igjen er lik arbeidets gjennomsnittsprodukt pr arbeidsdag. Det pålegges en kø-avgift lik τ pr tur-retur til arbeidsplassen, og inntektene pr dag fordeles likt som et fast beløp B per person på alle arbeiderne.

Arbeidernes daglige budsjettbetingelse blir da:

$$(w - \tau)x + B - c = 0$$

Tidsrestriksjonen som fanger opp både arbeidstid Tx og kjøretid tx uttrykt som andeler av normert arbeidstid pr dag blir

$$1 - (T + t)x - l = 0.$$

Innsatt i nyttefunksjonen $U(c,l)$ får vi

$$U((w - \tau)x + B, 1 - (T + t)x)$$

der $1 - (T + t)x$ er andelen av dagen benyttet til fritid

Førsteordens betingelsen for et indre maksimum for x blir

$$(4) (w - \tau)U_c - (T + t)U_l = 0$$

Denne betingelsen kan omskrives til (4')

$$\frac{U_l}{U_c} = \frac{w - \tau}{T + t}$$

der (4') uttrykker at konsumentens optimum er gitt ved at den marginale substitusjonsraten mellom konsum og fritid er lik netto lønn per dagsverk inklusive pendling.

Samfunnsøkonomisk optimum

Vi har at totalproduksjonen fra innsatsen av arbeid per dag er gitt ved $F(H) = F(Nx)$

Ressursrestriksjonen for totaløkonomien er gitt ved

$$(5) F(Nx) - Nc = 0$$

Tidsrestriksjonen for samfunnet er gitt ved

$$(6) 1 - (T + t(Nx))x - l = 0$$

I (6) er $t(Nx)$ tidskostnaden for pendling mellom arbeid og arbeidssted er som vil være stigende i pendlerraten x .

Innsetting i nyttefunksjonen for c og l fra (5) og (6) gir

$$(7) \left(\frac{F(Nx)}{N}, 1 - (T + t(Nx))x \right)$$

Maksimering av (7) mhp. faktisk arbeidstid gitt ved x gir første-orden betingelsen

$$(8) F'U_c - (T + t + Nt'(b)x)U_l = 0$$

Der $b = Nx$ er daglig biltrafikk mellom bosted og arbeidssted

Dette kan omformuleres som

$$(8') \frac{U_l}{U_c} = \frac{F'}{(T + t + Nt'(b)x)}$$

Høyresiden av (8') er marginalproduktet per arbeidsdag dividert på de samfunnsøkonomiske tidskostnader per arbeidsdag og kan tolkes som alternativkostnaden for fritid regnet i tapt konsum, mens venstresiden uttrykker den marginale betalingsvilligheten for fritid regnet i enheter av konsum. I optimum må alternativkostnaden være lik den marginale betalingsvilligheten. Dersom vi betegner marginalproduktet per arbeidsdag $MP = F'$ og de marginale samfunnsmessige tidskostnader pr arbeidsdag $ST = T + t_0 + Nt'(b)x$, der t_0 er tid benyttet til daglig pendling i fravær av kø, kan den samfunnsøkonomiske verdsettingen av tid for korthets skyld uttrykkes som forholdet mellom grenseprodukt og samlet tidsbruk dvs. F'/ST som da vil være den samfunnsøkonomiske alternativkostnaden for fritid.

Desentralisert realisering av optimum

Myndighetene kan påvirke den private tilpasningen i arbeidsmarkedet via bompenggeavgiften. Siden det gjennomsnittlige arbeidstilbudet pr dag er gitt ved andelen x av den normerte arbeidsdagen er eneste private beslutningsvariabel, vil et samfunnsøkonomisk optimum i dette tilfellet kunne realiseres ved valg av bomavgift på trafikken mellom bosted og arbeidssted.

Optimal bompenggeavgift er den som leder til at den private alternativkostnaden for fritid faller sammen med den samfunnsøkonomiske. Arbeiderne velger optimal fritid l og dermed er optimal arbeidstid x gitt som en andel av en normert arbeidsdag, og vil være $l = 1 - (T+t)x$ fra (2). Den optimale bompenggeavgiften er

gitt ved at den private alternativkostnaden for fritid som uttrykt ved helningen på indifferenskurven, blir lik den samfunnsøkonomiske alternativkostnaden som uttrykkes ved helningen på transformasjonskurven.

Vi har

$GP =$ gjennomsnittsproduktet pr dag

$MP = F'$ = marginalproduktet pr dag

$PT = T + t = T + t_0 + PK$ er totalt privat tidsforbruk på en normert arbeidsdag der $t'(b)_x = PK$ er den enkelte trafikants tidstap per arbeidsdag som følge av kø

$ST = (T + t_0 + N \cdot (PK))$ blir da samfunnets totale marginale tidsforbruk for en normert arbeidsdag med pendling.

Den optimale bomavgiften skal her korrigere for to eksterne virkninger som trekker i hver sin retning og som ikke blir internalisert i markedet. Dette er vist i betingelsen (9) for optimal bomavgift.

$$(9) \quad \tau^* = -(MP - GP) + \frac{U_l}{U_c} (ST - PT) \quad \text{der } MP - GP > 0 \text{ og } ST > PT.$$

Det første leddet i (9) korrigerer for den eksterne virkningen som skyldes at økt pendling fører til agglomerasjonsgevinster som ikke internaliseres i arbeidsmarkedet da arbeiderne avlønnes etter gjennomsnittsproduktet GP mens deres bidrag til verdiskapingen er høyere da $MP > GP$. Dette taler for å subsidiere pendlingskostnadene gjennom et fradrag i bomavgiften slik at det blir sammenfall mellom privat og samfunnsøkonomisk verdsetting av arbeidstilbudet. Den andre eksterne virkningen skyldes forskjellen i private og samfunnsøkonomiske tidskostnader vedrørende pendling. Den enkelte arbeider tar kun hensyn til egne tidskostnader og ser dermed bort fra at bidraget til kø fører til økte reisetider for alle. Dette taler isolert sett for økt bomavgift og er ivaretatt ved det andre leddet i betingelsen for optimal bomavgift.

Vi ser på et konkret eksempel. Anta at bedriften har en sysselsetting svarende til h normerte arbeidsdager og står overfor produktfunksjonen $[F(H)/H]h$, der $F(H) = kH^\alpha$, og der $k > 0$, og der $\alpha - 1$ viser graden av skala-utbytte og kan tolkes som et uttrykk for agglomerasjonseffekten for hele økonomien. En virksomhet som har en sysselsetting svarende til h normerte arbeidsdager, vil tilpasse seg som om den står overfor produktfunksjonen $kH^{\alpha-1}h$. Arbeidskraftens gjennomsnittsprodukt er her $kH^{\alpha-1}$ og grenseproduktet $\alpha kH^{\alpha-1}$.

Vi har da at $GP = w = F(H)/H = kH^{\alpha-1}$ og $MP = kH^{\alpha-1}$.

$$\text{Videre har vi fra (8')} \text{ at } \frac{F'}{(T+t+Nt'(b)x)} = \frac{MP}{ST} = \frac{U_f}{U_c}$$

Innsetting i (9) gir optimal bomavgift som andel av lønn

$$(10) \quad \frac{\tau^*}{w} = \frac{\tau^*}{GP} = 1 - \frac{\alpha PT}{ST}$$

Vi antar at den private tidskostnaden pr normert arbeidsdag, PT , består av $T + (t_0 + PK)$ der uttrykket i parentes er kjørekostnaden pr dag der t_0 er kjøretid uten kø mens den enkeltes trafikants opplevde køkostnad er PK . Den samfunnsøkonomiske tidskostnaden pr normert dagsverk, ST , antas å ha formen $ST = T + t_0 + (\beta+1)PK$ der βPK , $\beta \geq 1$, er den eksterne virkningen for reisetiden for de øvrige trafikantene av en enkelt tur-retur reise.

Optimal kø-avgift som andel av lønnsatsen blir da

$$\frac{\tau^*}{w} = 1 - \frac{\alpha(T + (t_0 + PK))}{T + t_0 + (\beta + 1)PK}$$

Dersom vi setter $\alpha = 1,05$ og $\beta = 3$, $t_0 = 2/3$ time som er reisetid tur-retur uten kø, $PK = 1/3$ time, normert dagsverk $T = 7,5$ timer, og $\beta = 3$, får vi en optimal kø-avgift pr dag på ca. 6 % av lønnen for en normert arbeidsdag. Hvis vi antar en gjennomsnittlig timelønn på 250, vil det gi en optimal kø-motivert bomavgift på ca. 112 kroner pr dag. Hvis vi reduserer kø-faktoren β i uttrykket ST for samfunnets totale tidsbruk for en arbeidsdag fra 3 til 2, vil den optimale bomavgiften bli mer enn halvert.

Referanser

Arnott, R., 2007. Congestion tolling with agglomeration externalities. *Journal of Urban Economics*, 62 (2), pp. 187-203.

Combes, P.P., Duranton, G., Gobillon, L and Roux, S., 2009. Estimating agglomeration effects with history, geology, and worker fixed- effects. I: Glaeser, E.L. (red): *The Economics of Agglomeration*. Chicago: The University of Chicago Press. Kap.: 1.

Hagen, K. P., Pedersen, K.R. og Tveter, E., 2014. *Ringvirkninger fra samferdselsinvesteringer..* SNF-rapport nr. 11/14.

Concept rapport nr. 42

-
- Hau, T.D., 1998. Congestion pricing and road investment. I: Button, K.J. og Verhoef, E. (red.): *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment*. Kap.: 3.
- Keeler, T.E. og Small, K.A., 1977. Optimal peak-load pricing, investment, and service level on urban expressways. *Journal of Political Economy*, 85 (1), pp. 1-25.
- Mohring, H. og Harwitz, M., 1962. *Highway Benefits: An Analytical Framework*. Evanston, USA: Northwestern University Press.
- Mohring, H., 1970. The Peak Load Problem with Increasing Returns and Pricing Constraints. *American Economic Review*, 60 (4), pp. 693-705.
- Rouwendal, J. og Verhoef, E.T., 2003. *Second-best pricing for imperfect substitutes in urban networks*. Tinbergen Institute Discussion Paper No. 2003-085/3.
- Strotz, R., 1994. Urban transportation parabels. *Economics of Transport*, 1 (8), pp. 379-421.
- Varian, H. R. *Microeconomic Analysis*. 1978. New York: W.W. Norton & Company.
- Verhoef, E.T, Nijkamp, P. og Rietveld, P., 1996. Second-best congestion pricing: The case of an untolled alternative. *Journal of Urban Economics*, 40, pp. 279-302.
- Wardrop, J., 1952. Some theoretical aspects of road traffic research. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, 1 (2), pp. 325-378.

4 Konklusjon

Del I gir en innføring i velferdsteoretiske prinsipper for optimale brukeravgifter som finansieringskilde i samferdselssektoren i en situasjon hvor generell skattefinansiering har uheldige effekter i form av vridninger og effektivitetstap. Dette effektivitetstapet er et argument for å behandle transporttjenestene som en skattebase på lik linje med andre skattebaser og innføre en brukeravgift. Denne avgiften vil fortrenge brukere og bidra til at marginal betalingsvillighet presses opp og blir høyere enn marginalkostnaden, slik at effektivitetstap oppstår også her. Hovedresultatet (som bestemmer nivået på den optimale bomavgiften) er at effektivitetstapet knyttet til siste krone krevd inn i form av bompenger skal være lik effektivitetstapet knyttet til siste skattekrone brukt i prosjektet. Fremstillingen knyttes til et stilisert (og numerisk) eksempel hvor det er mulig å vise hvordan ulike avgiftsstrategier påvirker prosjektets samfunnsøkonomiske verdi. Det blir også gjort rede for hvordan den optimale bomavgiften påvirkes av negative og positive eksterne virkninger og fordelingsmessige konsekvenser. I tillegg kommenteres kort nullalternativets betydning.

Del II er en oversikt over internasjonal litteratur om brukeravgifter i situasjoner preget av kødannelser. Etter en kort generell innledning om køkostnader diskuteres først optimale avgifter i et nettverk når ikke alle kjøreruter i nettverket kan avgiftsbelegges. Den optimale avgiften på en rute vil avhenge av hvordan køsituasjonen på andre ruter påvirkes. Deretter diskuteres mulighetene for at optimale avgifter under visse betingelser kan tenkes å gi tilstrekkelige inntekter til å finansiere et optimalt investeringsnivå i veikapasitet (Mohring og Harwitz teoremet). Det legges stor vekt på å presisere og diskutere nødvendige forutsetninger. Avslutningsvis diskuteres optimale avgifter i en situasjon med kø, samtidig som det er produktivetsgevinster knyttet til agglomerasjon. Avgiften vil være lavere jo høyere produktivetsgevinsten er.

Concept rapportserie

Papirtrykk: ISSN 0803-9763

Elektronisk utgave på internett: ISSN 0804-5585

Lastes ned fra: www.ntnu.no/concept/publikasjoner/rapportserie

Rapport	Tittel	Forfatter
Nr. 1	Styring av prosjektporteføljer i staten. Usikkerhetsavsetning på porteføljenivå <i>Project Portfolio Management. Estimating Provisions for Uncertainty at Portfolio Level.</i>	Stein Berntsen og Thorleif Sunde
Nr. 2	Statlig styring av prosjektledelse. Empiri og økonomiske prinsipper. <i>Economic Incentives in Public Project Management</i>	Dag Morten Dalen, Ola Lædre og Christian Riis
Nr. 3	Beslutningsunderlag og beslutninger i store statlige investeringsprosjekt <i>Decisions and the Basis for Decisions in Major Public Investment Projects</i>	Stein V. Larsen, Eilif Holte og Sverre Haanæs
Nr. 4	Konseptutvikling og evaluering i store statlige investeringsprosjekt <i>Concept Development and Evaluation in Major Public Investment Projects</i>	Hege Gry Solheim, Erik Dammen, Håvard O. Skaldebø, Eystein Myking, Elisabeth K. Svendsen og Paul Torgersen
Nr. 5	Bedre behovsanalyser. Erfaringer og anbefalinger om behovsanalyser i store offentlige investeringsprosjekt <i>Needs Analysis in Major Public Investment Projects. Lessons and Recommendations</i>	Petter Næss
Nr. 6	Målformulering i store statlige investeringsprosjekt <i>Alignment of Objectives in Major Public Investment Projects</i>	Ole Jonny Klakegg
Nr. 7	Hvordan tror vi at det blir? Effektvurderinger av store offentlige prosjekt <i>Up-front Conjecture of Anticipated Effects of Major Public Investment Projects</i>	Nils Olsson
Nr. 8	Realopsjoner og fleksibilitet i store offentlige investeringsprosjekt <i>Real Options and Flexibility in Major Public Investment Projects</i>	Kjell Arne Brekke
Nr. 9	Bedre utforming av store offentlige investeringsprosjekter. Vurdering av behov, mål og effekt i tidligfasen <i>Improved Design of Public Investment Projects. Up-front Appraisal of Needs, Objectives and Effects</i>	Petter Næss med bidrag fra Kjell Arne Brekke, Nils Olsson og Ole Jonny Klakegg
Nr. 10	Usikkerhetsanalyse – Kontekst og grunnlag <i>Uncertainty Analysis – Context and Foundations</i>	Kjell Austeng, Olav Torp, Jon Terje Midtbø, Ingemund Jordanger, og Ole M Magnussen
Nr. 11	Usikkerhetsanalyse – Modellering, estimering og beregning <i>Uncertainty Analysis – Modeling, Estimation and Calculation</i>	Frode Drevland, Kjell Austeng og Olav Torp
Nr. 12	Metoder for usikkerhetsanalyse <i>Uncertainty Analysis – Methodology</i>	Kjell Austeng, Jon Terje Midtbø, Vidar Helland, Olav Torp og Ingemund Jordanger
Nr. 13	Usikkerhetsanalyse – Feilkilder i metode og beregning <i>Uncertainty Analysis – Methodological Errors in Data and</i>	Kjell Austeng, Vibeke Binz og Frode Drevland

Concept rapportserie

Papirtrykk: ISSN 0803-9763

Elektronisk utgave på internett: ISSN 0804-5585

Lastes ned fra: www.ntnu.no/concept/publikasjoner/rapportserie

Rapport	Tittel	Forfatter
	<i>Analysis</i>	
Nr. 14	Positiv usikkerhet og økt verdiskaping <i>Positive Uncertainty and Increasing Return on Investments</i>	Ingemund Jordanger
Nr. 15	Kostnadsusikkerhet i store statlige investeringsprosjekter; Empiriske studier basert på KS2 <i>Cost Uncertainty in Large Public Investment Projects. Empirical Studies</i>	Olav Torp (red.), Ole M Magnussen, Nils Olsson og Ole Jonny Klakegg
Nr. 16	Kontrahering i prosjektets tidligfase. Forsvarets anskaffelser. <i>Procurement in a Project's Early Phases. Defense Aquisitions</i>	Erik N. Warberg
Nr. 17	Beslutninger på svakt informasjonsgrunnlag. Tilnærminger og utfordringer i prosjekters tidlige fase <i>Decisions Based on Scant Information. Challenges and Tools During the Front-end Phases of Projects</i>	Kjell Sunnevåg (red.)
Nr. 18	Flermålsanalyser i store statlige investeringsprosjekt <i>Multi-Criteria Decision Analysis In Major Public Investment Projects</i>	Ingemund Jordanger, Stein Malerud, Harald Minken, Arvid Strand
Nr. 19	Effektvurdering av store statlige investeringsprosjekter <i>Impact Assessment of Major Public Investment Projects</i>	Bjørn Andersen, Svein Bråthen, Tom Fagerhaug, Ola Nafstad, Petter Næss og Nils Olsson
Nr. 20	Investorers vurdering av prosjekters godhet <i>Investors' Appraisal of Project Feasibility</i>	Nils Olsson, Stein Frydenberg, Erik W. Jakobsen, Svein Arne Jessen, Roger Sørheim og Lillian Waagø
Nr. 21	Logisk minimalisme, rasjonalitet - og de avgjørende valg <i>Major Projects: Logical Minimalism, Rationality and Grand Choices</i>	Knut Samset, Arvid Strand og Vincent F. Hendricks
Nr. 22	Miljøøkonomi og samfunnsøkonomisk lønnsomhet <i>Environmental Economics and Economic Viability</i>	Kåre P. Hagen
Nr. 23	The Norwegian Front-End Governance Regime of Major Public Projects – A Theoretically Based Analysis and Evaluation	Tom Christensen
Nr. 24	Markedsorienterte styringsmetoder i miljøpolitikken <i>Market oriented approaches to environmental policy</i>	Kåre P. Hagen
Nr. 25	Regime for planlegging og beslutning i sykehusprosjekter <i>Planning and Decision Making in Hospital Projects. Lessons with the Norwegian Governance Scheme.</i>	Asmund Myrbostad, Tarald Rohde, Pål Martinussen og Marte Lauvsnes
Nr. 26	Politisk styring, lokal rasjonalitet og komplekse koalisjoner. Tidligfaseprosessen i store offentlige investeringsprosjekter <i>Political Control, Local Rationality and Complex Coalitions. Focus on the Front-End of Large Public Investment Projects</i>	Erik Whist, Tom Christensen

Concept rapportserie

Papirtrykk: ISSN 0803-9763

Elektronisk utgave på internett: ISSN 0804-5585

Lastes ned fra: www.ntnu.no/concept/publikasjoner/rapportserie

Rapport	Tittel	Forfatter
Nr. 27	Verdsetting av fremtiden. Tidshorisont og diskonteringsrenter <i>Valuing the future. Time Horizon and Discount Rates</i>	Kåre P. Hagen
Nr. 28	Fjorden, byen og operaen. En evaluering av Bjørvikautbyggingen i et beslutningsteoretisk perspektiv <i>The Fjord, the City and the Opera. An Evaluation of Bjørvika Urban Development</i>	Erik Whist, Tom Christensen
Nr. 29	Levedyktighet og investeringstiltak. Erfaringer fra kvalitets sikring av statlige investeringsprosjekter <i>Sustainability and Public Investments. Lessons from Major Public Investment Projects</i>	Ola Lædre, Gro Holst Volden, Tore Haavaldsen
Nr. 30	Ettrevaluering av statlige investeringsprosjekter. Konklusjoner, erfaringer og råd basert på pilotevaluering av fire prosjekter <i>Evaluating Public Investment Projects. Lessons and Advice from a Meta-Evaluation of Four Projects</i>	Gro Holst Volden og Knut Samset
Nr. 31	Store statlige investerings betydning for konkurranse- og markedsutviklingen. Håndtering av konkurransemessige problemstillinger i utredningsfasen <i>Major Public Investments' Impact on Competition. How to Deal with Competition Issues as Part of the Project Appraisal</i>	Asbjørn Englund, Harald Bergh, Aleksander Møll og Ove Skaug Halsos
Nr. 32	Analyse av systematisk usikkerhet i norsk økonomi. <i>Analysis of Systematic Uncertainty in the Norwegian Economy.</i>	Haakon Vennemo, Michael Hoel og Henning Wahlquist
Nr. 33	Planprosesser, beregningsverktøy og bruk av nytte-kostnadsanalyser i vegsektoren. En sammenlikning av praksis i Norge og Sverige. <i>Planning, Analytic Tools and the Use of Cost-Benefit Analysis in the Transport Sector in Norway and Sweden.</i>	Morten Welde, Jonas Eliasson, James Odeck, Maria Börjesson
Nr. 34	Mulighetsrommet. En studie om konseptutredninger og konseptvalg <i>The Opportunity Space. A Study of Conceptual Appraisals and the Choice of Conceptual Solutions.</i>	Knut Samset, Bjørn Andersen og Kjell Austeng
Nr. 35	Statens prosjektmodell. Bedre kostnadsstyring. Erfaringer med de første investeringstiltakene som har vært gjennom ekstern kvalitetssikring	Knut Samset og Gro Holst Volden
Nr. 36	Investing for Impact. Lessons with the Norwegian State Project Model and the First Investment Projects that Have Been Subjected to External Quality Assurance	Knut Samset og Gro Holst Volden
Nr. 37	Bruk av karbonpriser i praktiske samfunnsøkonomiske analyser. En oversikt over praksis fra analyser av statlige investeringsprosjekter under KVVU-/KS1-ordningen.	Gro Holst Volden

Concept rapportserie

Papirtrykk: ISSN 0803-9763

Elektronisk utgave på internett: ISSN 0804-5585

Lastes ned fra: www.ntnu.no/concept/publikasjoner/rapportserie

Rapport	Tittel	Forfatter
	<i>Use of Carbon Prices in Cost-Benefit Analysis. Practices in Project Appraisals of Major Public Investment Projects under the Norwegian State Project Model</i>	
Nr. 38	Ikke-prissatte virkninger i samfunnsøkonomisk analyse. Praksis og erfaringer i statlige investeringsprosjekter <i>Non-Monetized Impacts in Economic Analysis. Practice and Lessons from Public Investment Projects</i>	Heidi Bull-Berg, Gro Holst Volden og Inger Lise Tyholt Grindvoll
Nr. 39	Lav prising – store valg. En studie av underestimering av kostnader i prosjekters tidligfase <i>Low estimates – high stakes. A study of underestimation of costs in projects' earliest phase</i>	Morten Welde, Knut Samset, Bjørn Andersen, Kjell Austeng
Nr. 40	Mot sin hensikt. Perverse insentiver – om offentlige investeringsprosjekter som ikke forplikter <i>Perverse incentives and counterproductive investments. Public funding without liabilities for the recipients</i>	Knut Samset, Gro Holst Volden, Morten Welde og Heidi Bull-Berg
Nr. 41	Transportmodeller på randen. En utforskning av NTM5-modellens anvendelsesområde <i>Transport models and extreme scenarios. A test of the NTM5 model</i>	Christian Steinsland og Lasse Fridstrøm
Nr. 42	Brukeravgifter i veisektoren <i>User fees in the road sector</i>	Kåre Petter Hagen og Karl Rolf Pedersen

Forskningsprogrammet Concept skal utvikle kunnskap som sikrer bedre ressursutnyttning og effekt av store, statlige investeringer. Programmet driver følgeforskning knyttet til de største statlige investeringsprosjektene over en rekke år. En skal trekke erfaringer fra disse som kan bedre utformingen og kvalitetssikringen av nye investeringsprosjekter før de settes i gang.

Concept er lokalisert ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet i Trondheim (NTNU), ved Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi. Programmet samarbeider med ledende norske og internasjonale fagmiljøer og universiteter, og er finansiert av Finansdepartementet.

Address:

The Concept Research Program
Høgskoleringen 7A
N-7491 NTNU
Trondheim, NORWAY

ISSN: 0803-9763 (papirversjon)

ISSN: 0804-5585 (nettversjon)

ISBN: 978-82-93253-37-2 (papirversjon)

ISBN: 978-82-93253-38-9 (nettversjon)

The Concept research program aims to develop know-how to help make more efficient use of resources and improve the effect of major public investments. The Program is designed to follow up on the largest public projects over a period of several years, and help improve design and quality assurance of future public projects before they are formally approved.

The program is based at The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Faculty of Engineering Science and Technology. It cooperates with key Norwegian and international professional institutions and universities, and is financed by the Norwegian Ministry of Finance.

