

Test af et satellitbaseret kørselsafgiftssystem

Simon Bojer Sørensen, civilingeniørstuderende
Aalborg Universitet - Vej & Trafik
sbso04@plan.aau.dk

Harry Lahrman, sektionsleder, lektor
Aalborg Universitet - Trafikforskningsgruppen
lahrman@plan.aau.dk

Resumé

I dette paper beskrives opbygningen af en model af et takstsystem, som skal fungere i et satellitbaseret kørselsafgiftssystem. Modellen er forholdsvis simpel og bygger på et buffersystem, og der anvendes således ikke nogen avanceret map matching.

Det beskrives, hvordan modellen afprøves med tilfældigt udvalgte log-data fra AKTA-forsøget, som er af ringere kvalitet end gennemsnittet. Modellens beregnede priser for bilersternes køreture sammenholdes med en "korrekt" pris baseret på manuelt udpegede ruter.

Konklusionen er, at den anvendte model er i stand til at beregne priser som i mere end 80 % af tilfældene afviger mindre end +/- 2 % fra de korrekte priser.

Slutteligt er der nogle diskussionsemner, som kan tages op efter oplægget.

Introduktion

Paperet er baseret på et 9. semesterprojekt på civilingeniøruddannelsen i Vej & Trafik ved Aalborg Universitet, som blev afsluttet i april 2007 [Sørensen, S.B. 2007]. På det igangværende afgangprojekt på 10. semester arbejdes videre med samme emne, og der skal her udføres mere dybdegående undersøgelser. Afgangsprojektet afsluttes i efteråret 2007.

Baggrund og formål

I AKTA-forsøget benyttedes satellitpositionering (GNSS - Global Navigation Satellite System) til at teste forskellige kørselsafgiftssystemer. Forsøget havde ikke som sådan til formål at afprøve GNSS-teknologien, men det gav en række erfaringer og en stor mængde log-data, der kan bruges til videre analyser.

På baggrund af de umiddelbare teknologierfaringer konkluderede projektgruppen bag AKTA-forsøget, at satellitpositionering ikke var præcis og pålidelig nok til at bære et kørselsafgiftssystem, hvor betalingen afhænger af hvilken vej, bilisten kører på [Københavns Kommune 2005]. Samme konklusion nåede Martina Zabic frem til i sit afgangsprøveprojekt fra 2004 på Danmarks Tekniske Universitet [Zabic, M. 2004]. Konklusionerne baseredes først og fremmest på, at der under forsøget i visse områder af København ikke altid var så god satellitdækning på grund af tæt bebyggelse. Således forekom der i noget omfang udfald og fejl i logningerne.

Hvad, der ikke blev undersøgt i forbindelse med AKTA-forsøget, var, om satellitpositionering på trods af udfaldene og fejlene alligevel kunne benyttes til et vejafhængigt kørselsafgiftssystem. Formålet med 9. semesterprojektet har derfor været at udvikle og afprøve et vejafhængigt takstsystem med henblik på at fastlægge prisnøjagtighed og identificere fejlkilder.

Metode

100 tilfældige ture fra AKTA-forsøgets første runde i 2001/2002 benyttes til at afprøve en model af et takstsystem. Modellen er opbygget sådan, at dataene først behandles under databaseudtrækket vha. Oracle Spatial og derefter i Excel regneark.

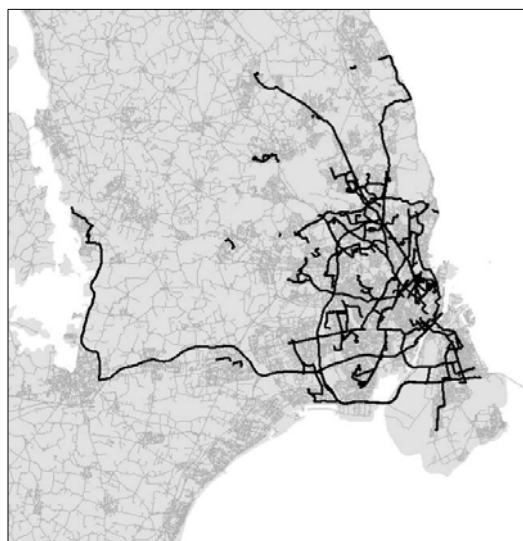
De priser, som beregnes af modellen, sammenlignes efterfølgende med de "korrekte" priser for hver enkelt tur. De "korrekte" priser findes ved manuelt at udpege hvert enkelt vejsegment på turene i ArcGIS.

Forudsætninger

Data

Som nævnt anvendes log-data fra 100 tilfældige ture fra AKTA-forsøgets første runde i 2001/2002 til at afprøve modellen af takstsystemet. De 100 ture stammer fra 68 forskellige biler, og omfatter 45.367 logninger. Den længste tur strækker sig over cirka 57 km, mens den korteste er mindre end 100 meter. Som det fremgår af figur 1 ligger størstedelen af logningerne inden for Motorring 3.

For at undersøge om de 100 ture er repræsentative for hele datasættet, er der foretaget en række data-analyser. 3,7 % af de 45.367 logninger er sket efter udfald, og til sammenligning er kun 1,6 % af det samlede antal logninger fra hele AKTA-forsøgets



Figur 1. De 100 tures beliggenhed. Størstedelen ligger inden for Motorring 3.

første runde sket efter udfald. Andre dataanalyser giver samme billede, nemlig at de 100 tilfældige ture umiddelbart ligger under gennemsnittet mht. egnethed til beregning af kørselsafgift. Således giver resultaterne et pessimistisk indtryk af modellens nøjagtighed.

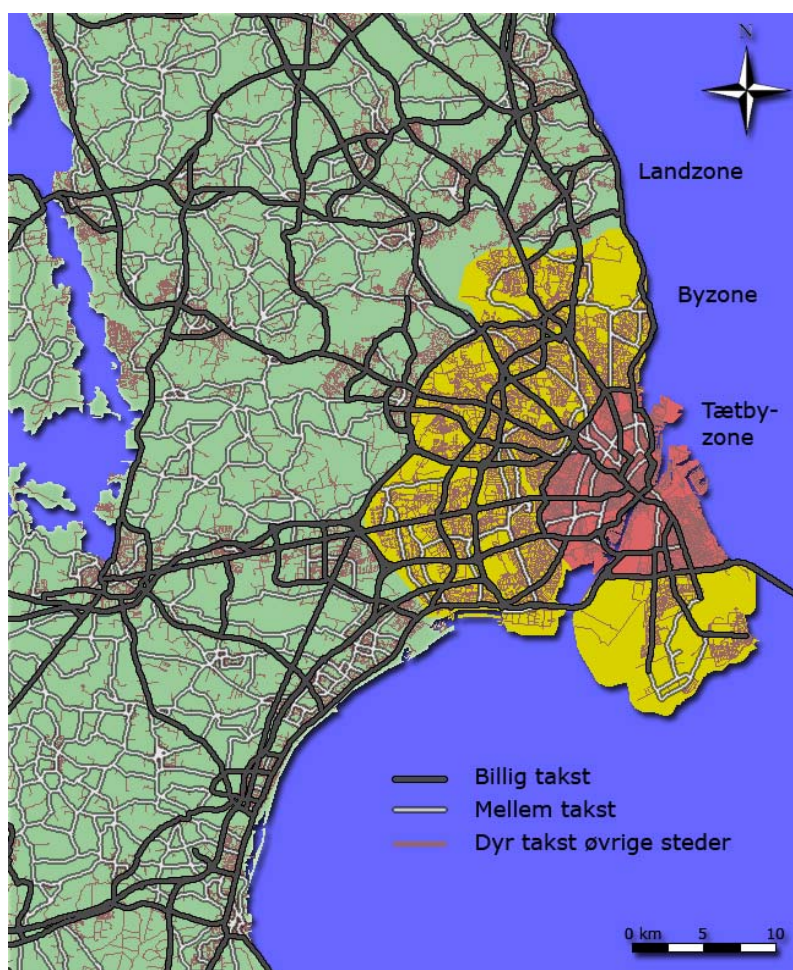
Kortværk, vejklassifikationer og zoneinddelinger

Til afprøvningen af takstsystemet benyttes vejtemaet fra Dansk Adresse- og Vejdatabase 2004 (DAV2004) [COWI 2007]. På baggrund af vejklassifikationen fra DAV2004 defineres de vejklasser og takstniveauer, der benyttes i afprøvningen af modellen.

Takst	Billig				Mellem	Dyr	
DAV2004 vejklasse	1	2	3	4	5	6	Uden for vejnettet

Sammenhængen ses i tabellen til højre. Takstniveauerne fremgår også af figur 2.

I takstsystemet arbejdes med tre takstzoner, land, by og tætby, som har henholdsvis lavt, mellem og højt takstniveau. Det er meningen, at større byer skal ligge i byzoner. Til afprøvningen af takstsystemet inddeles Storkøbenhavn i to cirkelringzoner, som er stærkt inspireret af den zoneinddeling, som blev benyttet under AKTA-forsøget. Ingen af de øvrige byer gives i afprøvningen byzonestatus. Zoneinddelingen fremgår af figur 2.



Figur 2. Takstniveauer for de tre vejklasser og de tre zoner. Den dyre vejtakst gælder overalt, hvor der ikke er mellem eller billig takst.

Opbygning af model

Systemkrav

Takstsystemet skal understøtte vejbaseret og zonebaseret kilometertaksering ved anvendelse af satellitpositionering, og det skal naturligvis være så nøjagtig som muligt. Et vigtigt krav til takstsystemet er, at det i hvert fald ikke må snyde bilisterne ved at opkræve for store afgifter. Ellers kan der aldrig opnås accept af kørselsafgifter og respekt for systemet. Der må således hellere opkræves for små afgifter end for store.

Systemdesign

Takstsystemet er bygget op omkring tre vejklassifikationer og tre zonetyper, som i alt danner ni takstniveauer, hvoraf nogle slås sammen, så der endeligt er fem takstniveauer.

Til afprøvning af systemet anvendes både en takststruktur, hvor takstintervallerne er lige store (type 1), og en takststruktur, hvor taksten stiger progressivt (type 2) (figur 3).

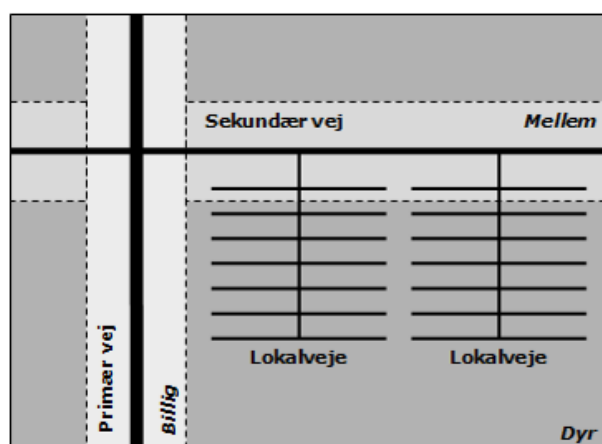
Type 1	Land	By	Tæt by
Primære veje	15	30	45
Sekundære veje	30	45	60
Lokale veje	45	60	75

Type 2	Land	By	Tæt by
Primære veje	10	25	55
Sekundære veje	25	40	70
Lokale veje	55	70	100

Figur 3. Til afprøvningen anvendes to takststrukturer. Enheden er øre/km.

Der er i forhold til kørselsafgiftssystemet ikke nogen grund til at knytte de enkelte logninger til en konkret vejstrækning. Derfor er der ikke anvendt nogen avanceret map matching. I stedet er takstsystemet opbygget som et buffersystem, hvor der omkring hver enkelt vej dannes en takstzone. Der anvendes en buffer på 30 meter, da denne afstand er den teoretiske usikkerhed på GPS-målinger [Dueholm, K. et al. 2005].

Kravet om ikke at snyde bilisterne er meget vigtigt. Derfor er systemet indrettet på en sådan måde, at der selv ved den mindste tvivl om takstniveau vælges den laveste takst. I praksis betyder det, at hvis en logning ligger inden for mere end én takstzonebuffer, så vælges den laveste takst. Det kan illustreres på den måde, at de billige veje og de tilhørende buffere ligger oven på de dyrere veje, og dermed har de første prioritet (figur 4).



Figur 4. Principskitse af buffersystem. Tre vejklasser og tre tilhørende takstniveauer er skitseret. Veje er sorte og buffere er afgrænset af stiplede linjer. På primære veje er der den billigste takst, på sekundære veje er der den mellemste takst, og på lokalveje samt uden for vejnettet er der den dyreste takst.

Denne udformning af buffersystemet vil givetvis snyde afgiftsopkræveren, da bufferne flere steder overlapper hinanden. På figur 4 ligger nogle af lokalvejene eksempelvis inden for bufferen for det mellemste takstniveau, selvom vejene egentlig er lokalveje. Tilsvarende køres igennem bufferen med det billigste takstniveau, når den primære vej krydses ved kørsel på den sekundære vej.

For at øge afgiftsberegningens nøjagtighed er der i takstsystemet indbygget et filter, som minimerer risikoen for, at der benyttes forkerte takstniveauer som beskrevet ovenfor. Filteret fungerer ved, at der først skiftes takst, når der er kørt i en vis periode eller over en vis strækning med samme takstniveau.

Der afprøves perioder på 5, 10 og 20 logninger (ikke sekunder, da der ved udfald kan gå adskillige sekunder uden logninger) og strækninger på 50, 100 og 200 meter. Systemet afprøves også uden denne takstfiltrering.

Det er blevet forsøgt at indbygge filtre, der kan frasortere fejlbehæftede logninger, dvs. logninger som er tilknyttet forkerte positioner, tidspunkter mv. Det har dog vist sig, at disse filtre ikke har nogen større gavnlige indflydelse på afgiftsberegningen, og filtrene beskrives derfor ikke nærmere her.

Takstsystemet er ikke designet til at indkalkulere kørselstidspunkt, men det vurderes, at det vil være forholdsvist let at tilføje dette element, så systemet også kan operere med myldretidstakst.

Beregningsprocedurer

I afgiftsberegningen er der to sideløbende beregningsprocedurer for hver enkelt logning. Den ene procedure beregner prisen for at køre på den pågældende vej, og den anden procedure beregner prisen for at køre i den pågældende zone. Til sidst summeres de to priser.

De to beregningsprocedurer har samme opbygning og ser ud som følger:

- Find vejklasse/zone vha. buffer
- Filtrer logninger og fastlæg takst
- Beregn og summer pris

I beregningerne bruges kun oplysninger fra den foregående logning, hvilket gør det muligt at overføre algoritmerne til et system med realtidsvisning af prisen. Dog bruger filteret en række logninger til at fastlægge den korrekte takst, og realtidsvisningen vil derfor nogle gange blive forsinket.

Da der i AKTA-forsøget ikke var måling af den kørte distance vha. odometer, beregnes den kørte distance i modellen ud fra logningernes koordinater. Der viser sig at være en forskel mellem denne beregnede distance og den målte (korrekte) distance, og denne forskel vil for-

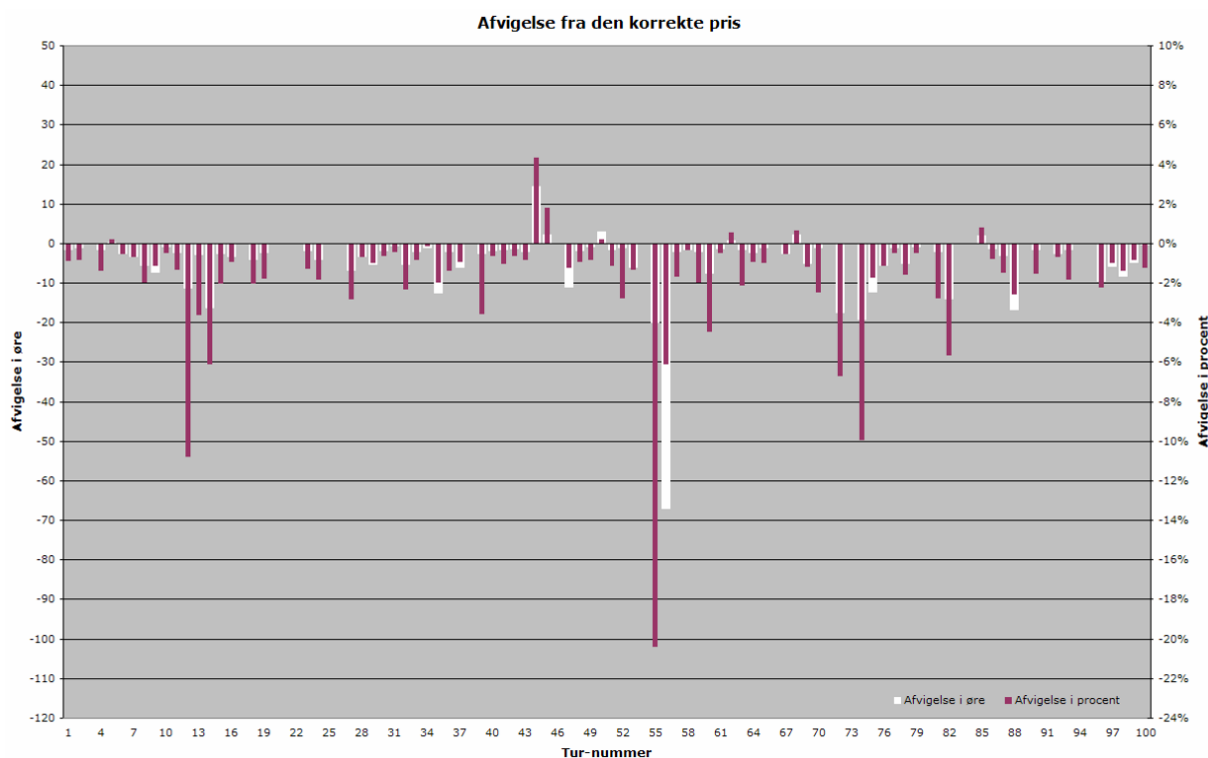
plante sig i den beregnede pris og dermed skævvride resultaterne. For at udligne denne distanceforskel multipliceres den beregnede pris med forholdet mellem den korrekte distance og den beregnede distance. Dette vil nogenlunde svare til, at der i et virkeligt system anvendes odometer til måling af distancen.

Resultater

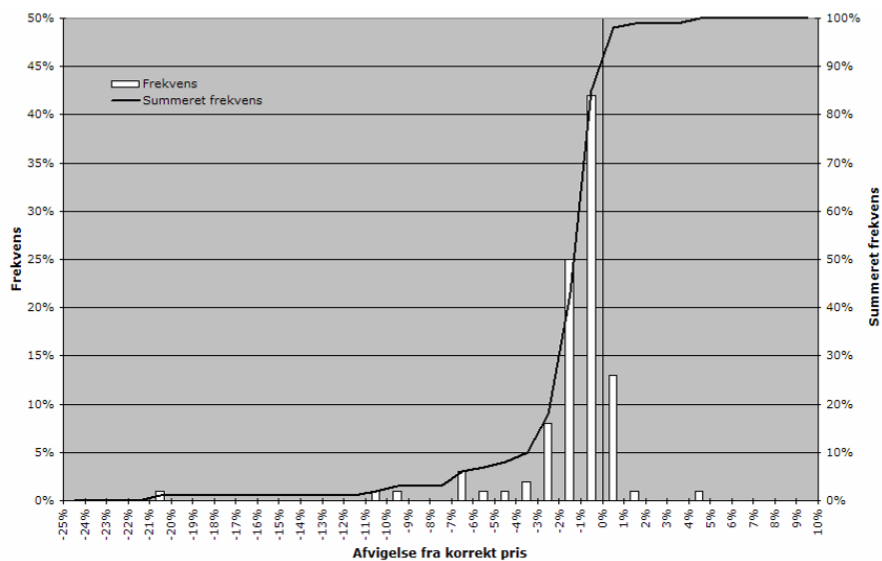
Der er gennemført 20 prøver med forskellige opstillinger, som er navngivet i alfabetisk orden og efter typen af takststruktur (A1-K1 og B2-H2). Kun de mest relevante prøver er medtaget i dette afsnit. Prøver med fejl-filtrering er blandt andet ikke medtaget.

På figur 5 og figur 6 ses resultaterne af prøve C1, som er en prøve med takststruktur type 1, distancekorrektion og takstfiltrering på 5 logninger. Det fremgår tydeligt, at den beregnede pris for langt størstedelen af turene ligger under den korrekte pris. Bemærk at den største positive afvigelse (hvor bilisten snydes) er 14 øre svarende til 4 %, og at den største negative afvigelse (hvor afgiftsopkræveren snydes) er -67 øre svarende til -6 %. Og det er vel at mærke på en tur på mere end 30 km. Den største positive relative afvigelse er 4 % svarende til 14 øre, og den største negative relative afvigelse er -20 % svarende til -20 øre. 20 % er en stor relativ afvigelse, men det skyldes, at den pågældende tur er meget kort.

I prøve C1 ligger til 81 af de 100 beregnede priser inden for +/- 2 % af den korrekte pris, og kun 1 af de 100 beregnede priser er mellem 2 % og 5 % højere end den korrekte pris. Samtidig er spredningen så forholdsvist lav, at kun 2 af de 100 beregnede priser er mellem 10 % og 21 % mindre end den korrekte pris.

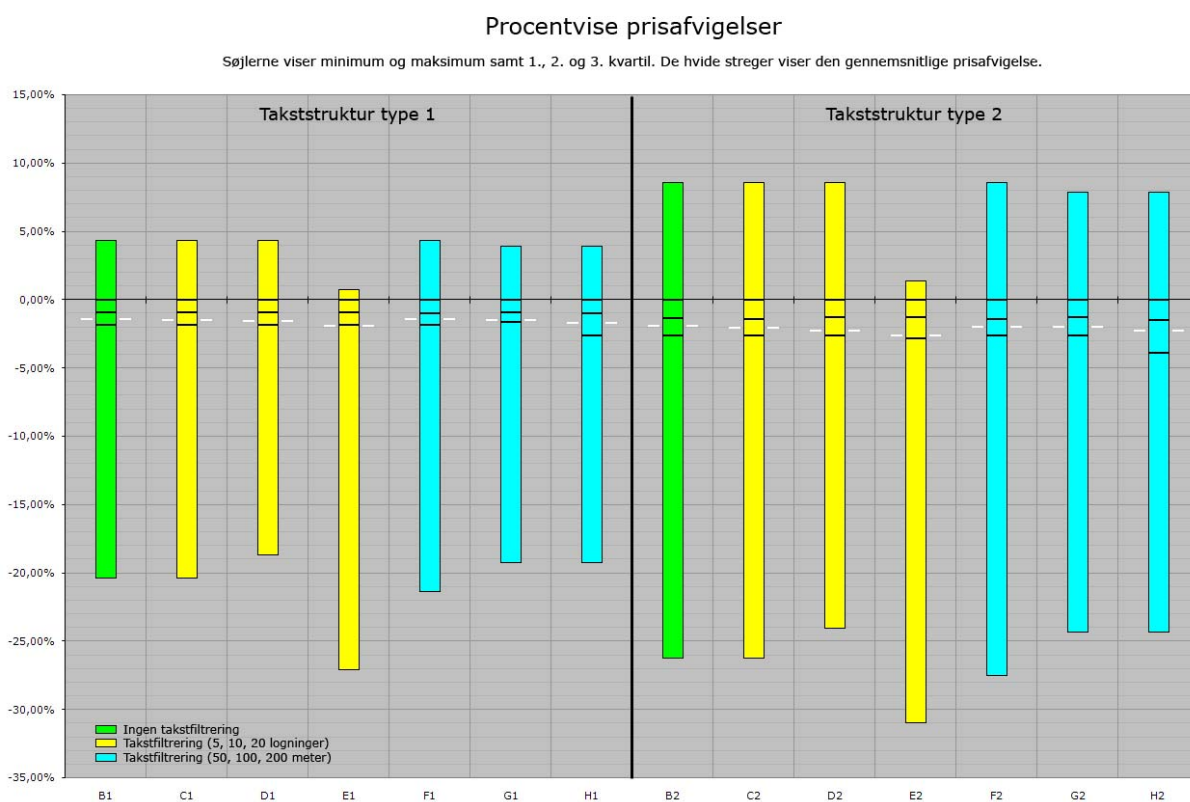


Figur 5. Figuren viser afvigelserne mellem de i modellen beregnede priser og de korrekte priser for de 100 ture i prøve C1. Bemærk begge lodrette akser.



Figur 6. Frekvensdiagram for prøve C1. Diagrammet viser, at modellen beregner en for høj pris for kun 15 af de 100 ture, og heraf afviger 13 mindre end 2%.

Resultaterne fra prøve C1 og 13 tilsvarende prøver vises på figur 7. Der er ikke de helt store forskelle mellem de enkelte prøver inden for hver takststruktur. Der er derimod markant forskel fra den ene takststruktur til den anden, hvor type 2 har større relative afvigelser end type 1. Det skyldes, at når modellen fastsætter et forkert takstniveau, har det størst konsekvens i type 2, hvor taksten stiger progressivt.



Figur 7. Resultater for de 14 mest relevante prøver. Der er stor forskel mellem de to takststrukturer, men indbyrdes giver resultaterne af prøverne det samme billede. Den gennemsnitlige prisafvigelse ligger for de fleste prøver mellem -1,5 % og -2 %

E-prøverne (distancekorrektion og takstfiltrering på 20 logninger) adskiller sig ved at have lave minima og maksima, men det vurderes at bero på (u)heldige omstændigheder, som dog ikke kan tilskrives tilfældigheder. Udsvingene skyldes nemlig, at takstfiltreringen på 20 logninger ikke fungerer efter hensigten i disse konkrete tilfælde.

H-prøverne (distancekorrektion og takstfiltrering på 200 meter) adskiller sig ved at have lave 1. kvartiler. Det skyldes blandt andet, at takstfiltreringen først skifter takst efter 200 meter. Dette bevirker nemlig, at taksten ofte ikke når at skifte fra billig takst på en primær vej til dyr takst på en sekundær vej, inden der igen køres til billig takst på en primær vej. Det er altså ved kort kørsel på en dyr vej mellem to billige veje, at problemet opstår.

Herunder ses de absolutte prisafvigelser for hver af de 14 prøver:

Takststruktur type 1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
Middel korrekt pris (øre)	259,77	259,77	259,77	259,77	259,77	259,77	259,77
Middel beregnet pris (øre)	256,18	256,02	255,73	254,81	256,11	256,02	255,45
Middel afvigelse (øre)	-3,59	-3,74	-4,03	-4,95	-3,65	-3,74	-4,31
Største positive afvigelse (øre)	18,62	14,39	14,39	2,13	18,62	20,24	17,47
Største negative afvigelse (øre)	-65,32	-67,02	-71,89	-71,89	-65,32	-71,89	-71,89

Tabel 1. Absolutte prisafvigelser for prøver med takststruktur type 1. Bemærk at de største prisafvigelser ikke kan sammenlignes med den gennemsnitlige korrekte pris.

Takststruktur type 2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2
Middel korrekt pris (øre)	282,44	282,44	282,44	282,44	282,44	282,44	282,44
Middel beregnet pris (øre)	277,06	276,80	276,21	275,05	276,96	276,89	276,08
Middel afvigelse (øre)	-5,38	-5,64	-6,23	-7,39	-5,48	-5,55	-6,36
Største positive afvigelse (øre)	30,34	30,34	30,34	4,08	30,34	28,85	27,85
Største negative afvigelse (øre)	-97,45	-100,01	-107,31	-107,31	-97,45	-107,31	-107,31

Tabel 2. Absolutte prisafvigelser for prøver med takststruktur type 2. Bemærk at de største prisafvigelser ikke kan sammenlignes med den gennemsnitlige korrekte pris.

Det fremgår af tabel 1, som vedrører prøver med takststruktur type 1, at den beregnede gennemsnitlige pris ligger omkring 4-5 øre under den gennemsnitlige korrekte pris uanset hvilken takstfiltrering, der anvendes. Samtidig ses det, at den største negative afvigelse ligger på samme niveau for alle syv prøver, mens prøve E1 har en lavere største positive afvigelse.

Det fremgår af tabel 2, som vedrører prøver med takststruktur type 2, at den beregnede gennemsnitlige pris ligger omkring 6-7 øre under den gennemsnitlige korrekte pris uanset hvilken takstfiltrering, der anvendes. Samtidig ses det, at den største negative afvigelse ligger på samme niveau for alle syv prøver, mens prøve E1 har en lavere største positive afvigelse.

Konklusion og vurdering

Resultaterne af prøverne viser, at det med den usikkerhed, der knytter sig til et forsøg med begrænset datagrundlag, er muligt at opbygge et system, hvor den beregnede pris for en tur i mere end 80 % af tilfældene afviger mindre end +/- 2 % fra den korrekte pris. Desuden er det muligt at kontrollere, at prisafvigelserne derudover primært sker til den rigtige side, således at bilisterne ikke bliver snydt. Ydermere ligger prisafvigelserne med en forholdsvis lille spredning, som sikrer, at det er muligt at tilvejebringe det fornødne provenu.

Regner man i absolutte priser, viser prøverne, at systemet med takststruktur type 1 er i stand til at beregne en pris for en køretur, som gennemsnitligt ligger blot 4-5 øre under den korrekte pris. Den største overtaksering i prøverne ligger omkring 20 øre, mens den største undertaksering ligger omkring -70 øre på en tur på mere end 30 km. Næststørste undertaksering ligger i størrelsesordenen -25 øre.

Med hensyn til sikkerheden af resultaterne skal det bemærkes, at det benyttede datagrundlag på 100 tilfældige ture gennemsnitligt har flere og større udfald end hele datasættet. Det kan således med rimelighed forventes, at resultaterne vil være mindst lige så gode, hvis der gennemføres tilsvarende prøver for alle turene fra AKTA-forsøget.

Perspektiver

Perspektiverne er, at spredningen på afvigelsen forhåbentlig kan mindskes, så den med stor sikkerhed vil ligge mellem -2 % og 0 %. Det er vurderingen, at dette kan opnås ved videreudvikling af det anvendte takstsystem. Med en beregnet pris, som ligger under den korrekte pris, vil bilisten ikke blive snydt. Hvis størrelsen af afvigelsen er kendt, kan takstniveauet sættes derefter, så det ønskede provenu alligevel opnås.

I det igangværende afgangprojekt afprøves et videreudviklet takstsystem blandt andet i forhold til specifikke ture, som har gået gennem områder med erklæret dårlig satellitdækning. Desuden undersøges det, om samme tur altid har samme pris. Det har stor betydning, da bilister ofte kører samme tur (eksempelvis bolig-arbejde) og derfor vil undre sig over prisudsving.

I det videreudviklede takstsystem opereres også med et startgebyr. I forhold til et kørselsafgiftssystem har det først og fremmest til formål at mindske antallet af korte ture, da disse ofte lige så godt kan foretages til fods eller på cykel, og da koldstarter af biler er meget forurenende. I forhold til selve takstsystemet har det desuden den effekt, at den relative prisafvigelse på korte ture mindskes; en afvigelse på 20 øre på en tur til 1 kr. er meget, men hvis der er et startgebyr på 5 kr. er en afvigelse på 20 øre ikke meget.

Diskussionsemner

Hvor stor skal prisnøjagtigheden være? (herunder ligger naturligvis hvor høje taksterne skal være) Skal prisen passe på øren, eller kan der afrundes til nærmeste 25 øre ligesom i supermarkedet? Eller måske til nærmeste hele krone?

Hvilke informationer om kørselsafgifterne skal bilisten have under kørslen? Det kan diskuteres, om det overhovedet er nødvendigt at have synligt taxameter i bilen. Det har vel ingen gavnlig effekt, at bilisten kan se, hvad taksten er på den pågældende vej, og prisen for en kørt tur kan vel lige så godt tjekkes på internettet. (?)

Læseren bedes overveje disse spørgsmål, så der er grundlag for en kort diskussion.

Kildehenvisninger

- COWI, '*Dansk Adresse- og Vejdatabase*', <http://www.davdata.dk>, 2007
- Dueholm, K., Laurentzius, M., & Jensen, A.B.O., '*GPS*', Nyt Teknisk Forlag, 3. udgave, 1. oplag, 2005
- Københavns Kommune, '*Forsøg med kørselsafgifter i København*', København, 2005
- Sørensen, S.B., '*Et satellitbaseret kørselsafgiftssystem*', 9. semesterprojekt på Aalborg Universitet, 2007
- Zabic, M., '*En GIS-analyse af GPS-kvalitet til roadpricing*', Afgangprojekt på Danmarks Tekniske Universitet, 2004