

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift  
**Udvalgte Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet**  
(Selected Proceedings from the Annual Transport  
Conference at Aalborg University)

ISSN 1903-1092

[www.trafikdage.dk/artikelarkiv](http://www.trafikdage.dk/artikelarkiv)

Modtaget november 2011

Accepteret 02.01.2013



# Estimering af bilers brændstofforbrug ved brug af eksisterende GPS data

Ove Andersen<sup>1</sup>, [xcaliber@cs.aau.dk](mailto:xcaliber@cs.aau.dk)

Harry Lahrman<sup>2</sup>, [lahrman@plan.aau.dk](mailto:lahrman@plan.aau.dk)

Kristian Torp, [torp@cs.aau.dk](mailto:torp@cs.aau.dk)

<sup>1</sup>Institut for Datalogi, Aalborg Universitet, <sup>2</sup>Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet

---

## Abstrakt

GPS data opsamles i mange sammenhænge f.eks. for at finde køretider i vejnettet. I denne artikel vises, hvorledes eksisterende GPS data kan bruges til at estimere brændstofforbruget for en tur. En metode til at estimere brændstofforbruget for en enkelt tur generaliseres til at kunne estimere brændstofforbruget for alle ture i vejnettet. Tre typiske ture med både by- og landkørsel bruges til at afprøve den generaliserede metode. Hovedkonklusionerne er for det første at optimering for brændstofforbrug giver andre ruter end, hvis der optimeres for hurtigste eller kortest rute. For det andet, at der er betydelige forskelle i det estimerede brændstofforbrug for forskellige ruter mellem de samme to punkter. For det tredje, at det estimerede brændstofforbrug ikke er en perfekt indikator, men det bedste der kan opnås uden, at der skal installeres nyt specialiseret udstyr i køretøjer.

---

## Introduktion

Det er forholdsvis simpelt og billigt at opsamle GPS målinger fra køretøjer (1). Når større mængder GPS data indsamles fra et passende antal køretøjer kan disse data bruges til at beregne f.eks. køretider (2) (3) (4) (5). Det er ligeledes muligt ud fra GPS data at estimere miljøindikatorer, f.eks. hvor aggressivt kører biler og er der nogle vejstrækninger, der har en højere (negativ) miljø påvirkning end andre (6). I denne artikel præsenteres et forsøg, hvor eksisterende GPS data anvendes til at estimere brændstofforbruget for enkelt ture og for vejnettet generelt. Dette gøres ved at opbygge en database med GPS data. Ud fra disse data gives et konkret forslag til estimeringen af brændstofforbruget og til at finde den mest brændstofføkonomiske rute mellem to punkter.

I disse år er der øget fokus på biltrafikkens miljøpåvirkninger, samtidig med at der kan spares penge gennem reduktion af brændstofforbruget ved miljørigtig kørsel. Derfor er ruteplanlæggere, som tager højde for brændstofforbrug begyndt at dukke op. Disse planlæggere hjælper grundlæggende med at finde en såkaldt *grøn rute* (6) (7) (8). Problemet med planlæggerne er, at det er proprietære løsninger, hvor det ikke er kendt hvilke algoritmer, der benyttes til at beregne brændstofforbruget (eller miljøbelastningen). I denne artikel fremlægges et bud på hvorledes brændstofforbruget kan estimeres på en generel og åben måde. Med generel menes, at den samme model anvendes på alle typer af personbiler f.eks. en Ferrari og en lille Fiat. Tilsvarende er beregningsmetodikken ikke begrænset til f.eks. et Garmin, Nokia, eller TomTom apparat.

Med åben menes, at de forskellige trin i beregningen er offentligt kendt således, at andre kan kommentere og vurdere på det estimerede brændstofforbrug.

I det følgende afsnit præsenteres relateret arbejde. Herefter introduceres en metode for, hvordan brændstofforbruget estimeres ud fra GPS data. Resultater for forskellige ture sammenlignes ud fra korteste distance, hurtigste tid og mest brændstoføkonomiske. Ligeledes viser to kort, hvor det brændstoføkonomisk er billigt og dyrt at køre i hhv. hele Nordjylland og for Aalborg by. Et afsnit diskuterer styrker og svagheder ved den forslåede metode. Artiklen afrundes med en konklusion og forslag til videre arbejde.

## Relateret arbejde

Der er to typer af relateret arbejde fra henholdsvis industrien og fra universiteterne. Disse typer behandles og beskrives separat i det følgende.

### Industrielt arbejde

Flere navigationsprodukter har allerede ruteplanlæggere, som tager højde for benzinforbruget. Garmin har eksempelvis introduceret funktionaliteten ecoRoute (6) (7) (8) i visse modeller af deres ruteplanlæggere. Lignende teknologier er introduceret med Vexia econav (9), Carbon Diem (10), Minorplanet VM!greenlight (11) og Lysanda Eco-Log (12). Fælles for dem alle er, at de forsøger at give et bud på den mest økonomiske rute. Ligeledes giver disse ofte mulighed for at hjælpe til at forbedre kørestilen for bilisten.

Fælles for disse teknologier er, at de er proprietære, og det er ikke umiddelbart muligt at vurdere, hvilke parametre der bliver taget hensyn til, samt hvordan disse vægtes. Garmin siger: *"There are patents pending related to the algorithms and methods used by Garmin ecoRoute technology."* (8). Men hvorvidt dette vil åbne op for Garmins teknologier, er uvist.

### Akademisk arbejde

Der er forsket bredt i feltet navigation, men området omhandlende navigation med hensyn til brændstofforbrug er stadig ungt. Overordnet har fokus hovedsagligt været at finde den korteste og hurtigste rute så effektivt som muligt.

Artiklerne (13), (14) og (15) beskriver, at der er en økonomisk og miljømæssig gevinst ved at vælge alternative ruter frem for hurtigste rute, samt at miljøbelastningen forøges på veje med højere hastigheder, men der tages f.eks. ikke hensyn til vejtyper og vejens tracé. (16) er et lignende projekt, men her benyttes opsamlet GPS data fra biler. Her påvises det, at op mod næsten halvdelen af rutevalgene ikke er optimale mht. brændstofforbrug. I artiklen (16) tages der højde for vejens belastningsgrad, køretøjet og vejtypen. Artiklen (17) viser, at summen af koteforskellene (bakkeindeks) på en rute har betydelig effekt på brændstofforbruget. I (18) er udviklet en ruteplanlægger, som vha. GPS data beregner den bedste økonomiske og mest miljømæssige rute på baggrund af accelerationer. I artiklen (18) gives to bud på forskellige metoder til beregning af ruter.

I (19) opstilles en model til beregning af brændstofforbruget for forskellige typer af personbiler og lastbiler. Disse beregninger tager udgangspunkt i hastighed og acceleration. Dette arbejde er en reduceret og simplificeret udgave af arbejdet i (20). I (20) beskrives og afprøves en metode til at estimere brændstofforbruget for personbiler i et punkt, på baggrund af hastighed, acceleration og hældning på vejen. Arbejdet i (20) er en empirisk validering af de analytiske resultater beskrevet i (21).

## Metode

Først præsenteres hvorledes brændstofforbruget for faktiske kørte ture estimeres. Herefter anvendes disse værdier til at forsyne et digitalt vejkort med et forventet brændstofforbrug for hvert vejsegment for at kunne sammenligne det estimerede brændstofforbrug for forskellige ruter mellem to punkter.

## Beregning af brændstofforbrug for en tur

I (21) er følgende formel for et estimat på brændstofforbruget opstillet, og evalueret med forsøg af (20).

$$(1) \text{ forbrug} = v * (1,1 * a + 9,81 * h + 0.132) + 0,000302 * v^3$$

Hvor  $v$  er den aktuelle hastighed (i m/s),  $a$  er acceleration i  $\text{m/s}^2$  og  $h$  er vejens gradient i grader. Formlen er en øjebliksformel, og beskriver kraften, der bliver brugt for at drive bilen frem i et øjeblik. Hvis vejsegmentets gradient ikke kendes kan denne sættes til 0 (nul) og den simple formel nedenfor anvendes.

$$(2) \text{ forbrug} = v * (1,1 * a + 0,132) + 0,000302 * v^3$$

Reelt opstiller formlerne (1) og (2) et indeks for brændstofforbruget og ikke et estimat for brændstofforbruget. Af hensyn til læsevenligheden vil betegnelsen "brændstofforbruget" blive anvendt i det efterfølgende selv om en mere korrekt betegnelse er "indeks for brændstofforbrug". Bemærk at der ikke er nogen enhed på det beregnede forbrug (det er en simpel metrik).

I (20) normaliseres formelen ud fra en koefficient, som de har beregnet til at være hhv. 0,271, 0,261 og 0,258 for tre forskellige typer af personbiler. De argumenterer for (20), at gennemsnittet, dvs. 0,264, kan bruges for personbiler generelt. Ligeledes bestemmes det, a) at det normaliserede brændstofforbrug sættes til 1, når det estimerede forbruget er 0 eller negativt og b) en lineær funktion når forbruget er positivt. Det normaliserede forbrug fremgår således af følgende formel.

$$(3) \text{ normaliseret forbrug} = \begin{cases} 0,264 * \text{forbrug} + 1 & , \text{hvis } v > 0 \\ 1 & , \text{hvis } v \leq 0 \end{cases}$$

Til estimeringen af brændstofforbruget for en tur skal derfor følgende data være tilgængelig for hver GPS måling: Køretøjs ID, tidspunkt, længdegrad, breddegrad samt hastighed. Et eksempel på sådanne data er vist i tabellen herunder. Det er data, der er tilgængelig som output fra alle GPS modtagere. I tabellen vises to meget korte ture (køretøjs ID=1 og ID=2) hvor data er sorteret i forhold til tiden.

Køretøjs ID	Tid	Længdegrad	Breddegrad	Hastighed
1	12:00:00	21	22	80
1	12:00:01	45	53	80
1	12:00:02	35	32	70
2	12:00:02	42	123	110
1	12:00:03	43	31	75
2	12:00:03	52	56	115
1	12:00:04	32	23	80

Tabel 1: GPS målinger

Hvis GPS målingerne for turen med køretøjs ID=1 i Tabel 1 indsættes i formel (3) kan brændstofforbrug estimeres. Resultatet er vist i Tabel 2 herunder.

Køretøjs ID	Start-Tid	Stop-Tid	Forbrugsindikator
1	12:00:00	12:00:01	2,65
1	12:00:01	12:00:02	2,26
1	12:00:02	12:00:03	10,85
1	12:00:03	12:00:04	11,61

Tabel 2: Estimeret brændstofforbrug for en enkelt tur. Bemærk der er ikke nogen enhed på forbrugsindikator kolonnen.

Da vi ikke kan opsamle bremseenergi, sættes negative accelerationer til 0. Det samlede brændstofforbrug estimeres ved at summere det beregnede forbrug for en tur. I eksemplet ovenover er estimatet for turen for Køretøjs ID = 1 således  $(2,65 + 2,26 + 10,85 + 11,64) = 27,4$ . Bemærk at brændstofforbruget for konstant hastighed er betydeligt lavere end brændstofforbruget ved acceleration. Bemærk yderligere at det er mere

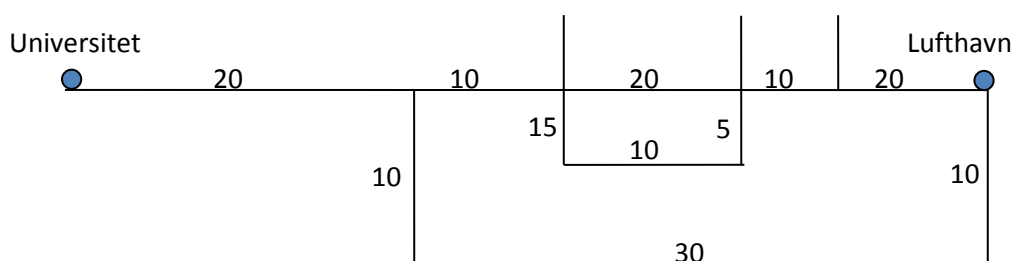
brændstofforbrugende at have den samme acceleration ved højere hastigheder i eksemplet fra 70 km/t til 75 km/t er mindre brændstofforbrugende end fra 75 km/t til 80 km/t.

Med denne information kan det således estimeres et indeks for brændstofforbruget på en tur. Metoden giver et kvalificeret estimat af brændstofforbruget, men har også visse begrænsninger, som beskrives i (20). Disse begrænsninger er hovedsageligt, at modellen kræver GPS målinger hvert sekund og at estimatet kun passer på gennemsnittet af lette benzindrevne køretøjer. Skal der måles på f.eks. dieseldrevne køretøjer vil det kræve tilpasninger af visse konstanter. Den store fordele ved metoden er, at den kun benytter input som relativt let kan opsamles.

## Estimering af brændstofforbrug

Det næste trin er at estimere hvilken rute vil være den mest brændstoføkonomiske baseret på det beregnede brændstofforbrug for de faktisk kørte ture. Som et eksempel: En chauffør sætter sig ind i sin bil og vil køre fra universitet til lufthavnen. I stedet for at optimere for den korteste eller den hurtigste rute ønsker chaufføren at optimere for den mest brændstoføkonomiske rute.

Brændstofforbruget for en rute findes ved at forsyne et digitalt vejkort med det estimerede brændstofforbrug for allerede kørte ture. Et eksempel er vist herunder i Figur 1, hvor det estimerede brændstofforbrug er 20 enheder for at køre på det første segment fra universitetet og mod højre. Den korteste vej fra universitet til lufthavnen er den direkte linje. Men de to ekstra kryds gør, at det antages at være hurtigere at køre den lange vej, men hvilken vej har det laveste brændstofforbrug? Vi udregner for hvert vejsegment gennemsnittet af brændstofforbruget for alle ture, der har passeret segmentet, og påfører segmentet dette gennemsnit. Det ses nu, at den korteste vej har et estimeret brændstofforbrug på  $20 + 10 + 20 + 10 + 20 = 80$ , mens den længere rute har et forbrug på  $20 + 10 + 30 + 10 = 70$ . Altså bør man for at få det laveste brændstofforbrug vælge den længste rute.

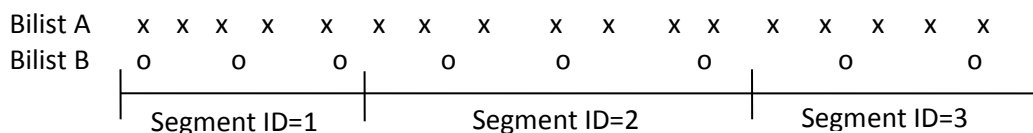


Figur 1 Forbrugsvægte på segmenterne på et vejkort

Brændstofforbruget for hvert segment estimeres som sagt ved at finde alle turene, der har brugt segmentet, og tage gennemsnittet af det estimerede brændstofforbrug. Eksemplet i Figur 2 viser to ture, der har passeret over tre segmenter. Begge ture logger et GPS punkt hvert sekund. Herudfra kan det ses, at bilist A (krydsene) har kørt langsommere end bilist B (cirklerne), da bilist A har flere GPS punkter på samme strækning.

For hver gang en bilist har passeret et segment, summeres brændstofforbruget for dette segment. Disse summeringer er vist i Tabel 3 f.eks. er summen af bilist A's brændstofforbrug på segment ID = 1 beregnet til 40. Tallet 40 er fundet ud fra den GPS data, der er map-matchet til segment ID = 1 for turen som bilist A har kørt. Disse GPS data er efterfølgende indsat i formelen for det normaliserede forbrug fra sektion *Beregning af brændstofforbrug for en tur*.

For at finde brændstofforbruget for hvert segment beregnes gennemsnittet af brændstofforbruget for hvert segment. Det vil sige, at brændstofforbruget for segment ID=1 bliver  $(40 + 50) / 2 = 45$ , da bilist A havde et brændstofforbrug på 40 og bilist B havde et brændstofforbrug på 50 for segment ID=1.



Figur 2: Estimering af brændstofforbrug for to ture på tre segmenter

Segment ID	Bilist A	Bilist B	Gennemsnit
1	40	50	45
2	60	80	70
3	50	60	55

Tabel 3: Estimering af brændstofforbrug fra ture til estimering af rute på kort

Hermed er det nu muligt ud fra estimatet af brændstofforbruget for tidligere kørte ture at estimere brændstofforbruget for nye ture.

## Resultater

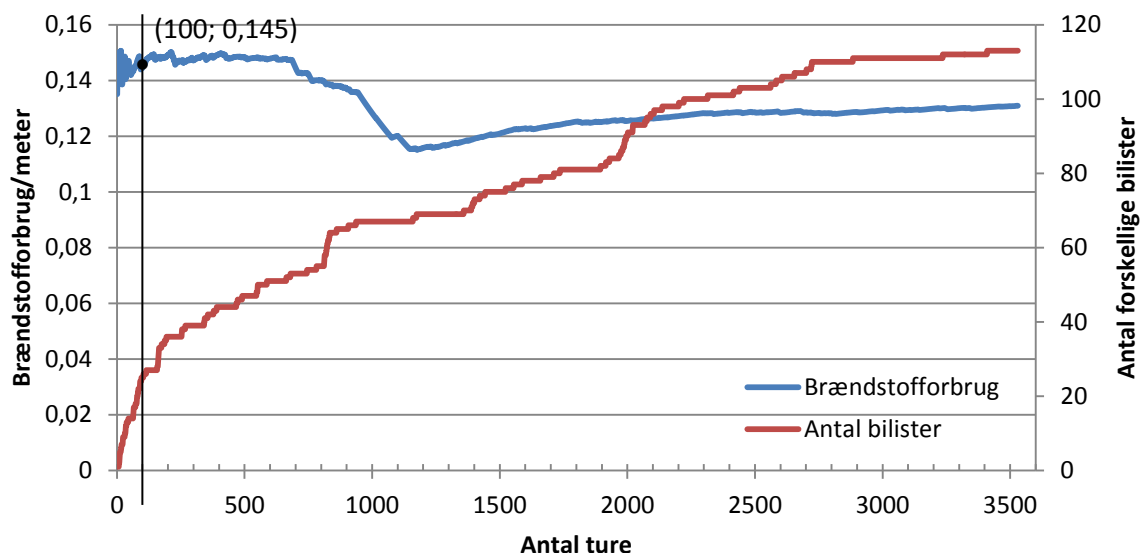
De resultater, der præsenteres i dette afsnit, er fremkommet ved at bruge GPS data fra projektet *Spar på Farten* (22) (23). I dette projekt har 153 bilister i perioden 2006-2008 kørt rundt med GPS udstyr. Positionen for hver bil er blevet logget hvert sekund, hvilket har produceret cirka 330 millioner GPS målinger. Disse målinger er alle hentet ind i en database og for hvert segment er et gennemsnitligt brændstofforbrug fundet ud fra de faktiske kørte ture.

## Krav til data

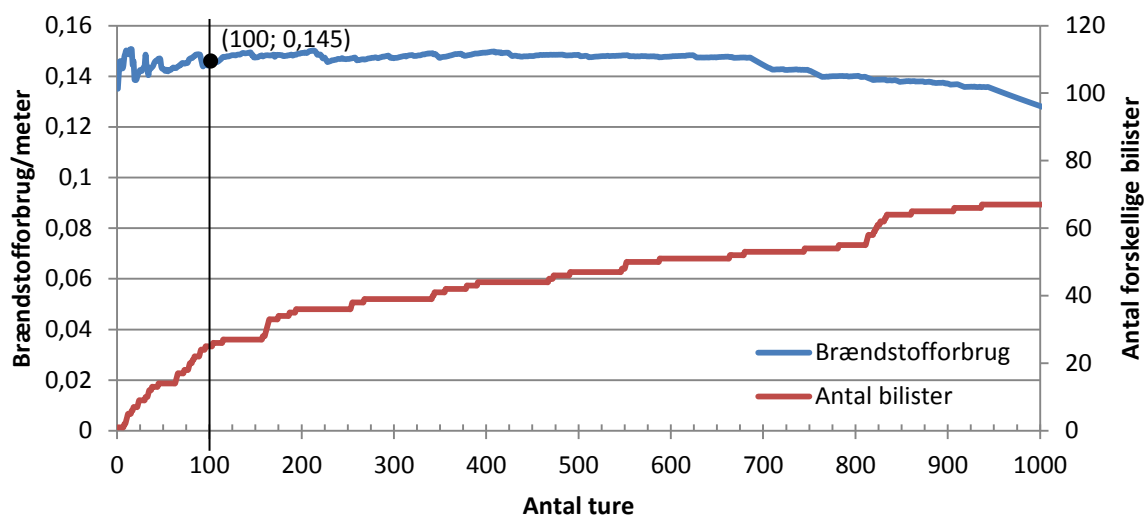
Som tidligere vist, så findes brændstofforbruget på hvert segment ved at finde det gennemsnitlige brændstofforbrug for de ture, der har passeret hvert segment. Men da brændstofforbruget varierer meget, afhængigt af kørestil, tidspunkt, m.v., er det nødvendigt at have en vis mængde data for hvert segment, for at gennemsnittet bliver retvisende.

Figur 3 viser en graf over, hvordan det gennemsnitlige brændstofforbrug udvikler sig fra en tur og op til 3.532 ture på et længere segment på Sønderbro i Aalborg. Turene er sorteret efter dato, så de ældste ture kommer først og nyeste sidst. Figur 4 viser et udsnit af de første 1.000 ture, som giver et bedre overblik over udviklingen ved de første ture. Som det kan ses af de to grafer, så er det først efter ca. 1.800 ture brændstofforbruget har stabiliseret sig på cirka 0,13. De røde grafer viser antallet af forskellige bilister, der er registreret. Bemærk at når der kommer nye bilister til på segmentet, så ændrer det gennemsnits brændstofforbrug sig også specielt ved "knækket" på antal af bilister ved cirka 800 ture i Figur 3.

Figur 4 viser, at når der er få ture har de enkelte ture høj vægtning og grafen for brændstofforbruget er ganske ustabil. Efter cirka 100 ture skal der større og flere, ændringer i brændstofforbruget til, førend gennemsnittet forandres signifikant. Derfor bestemmes 100 ture som en grænse for, hvornår der er nok data til at sige gennemsnittet er stabilt. At gennemsnittet ændrer sig over længere tid kan skyldes nye bilisters anderledes kørestil eller ændringer af selve vejnettet.

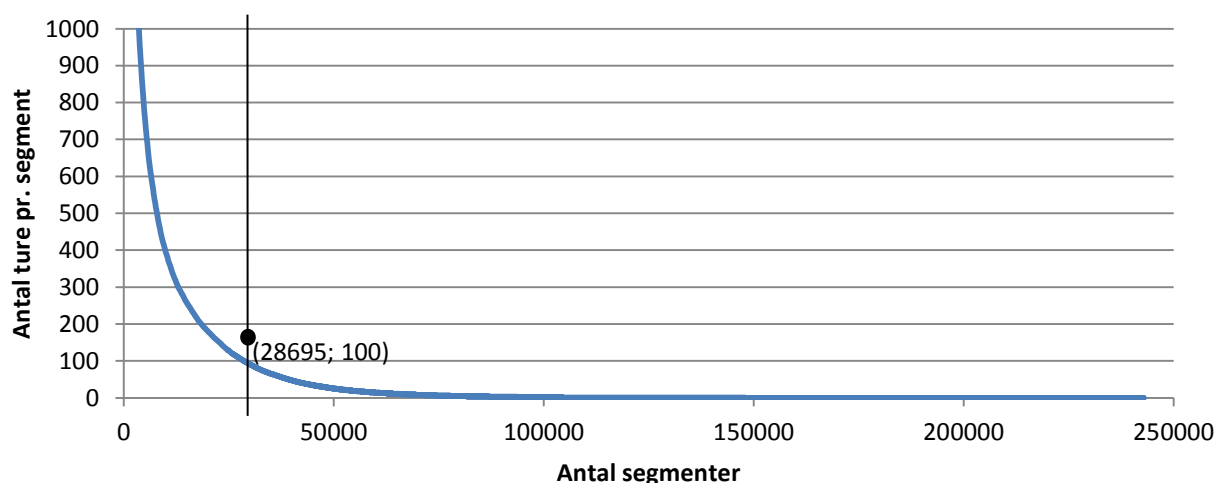


Figur 3: Gennemsnitligt brændstofforbrug efter antal ture for et segment (Sønderbro i Aalborg)



Figur 4: Gennemsnitligt brændstofforbrug for de første 1000 ture på et segment (Sønderbro i Aalborg)

Figur 5 viser hvor mange unikke ture, der er tilgængelig for hvert segment i hele Nordjylland. Segmenterne er sorteret efter antallet af ture. Det kan ses, at der er 28.695 segmenter med 100 eller flere ture tilknyttet af i alt 239.017 segmenter. Her er vejene, hvor det er muligt at køre i begge retninger talt dobbelt, da løsningen tager højde for retning på segmenterne. De 28.695 segmenter dækker alle større veje og mange af vejene i de større byer i Nordjylland, se evt. Figur 9.



Figur 5: Antal ture pr. segment

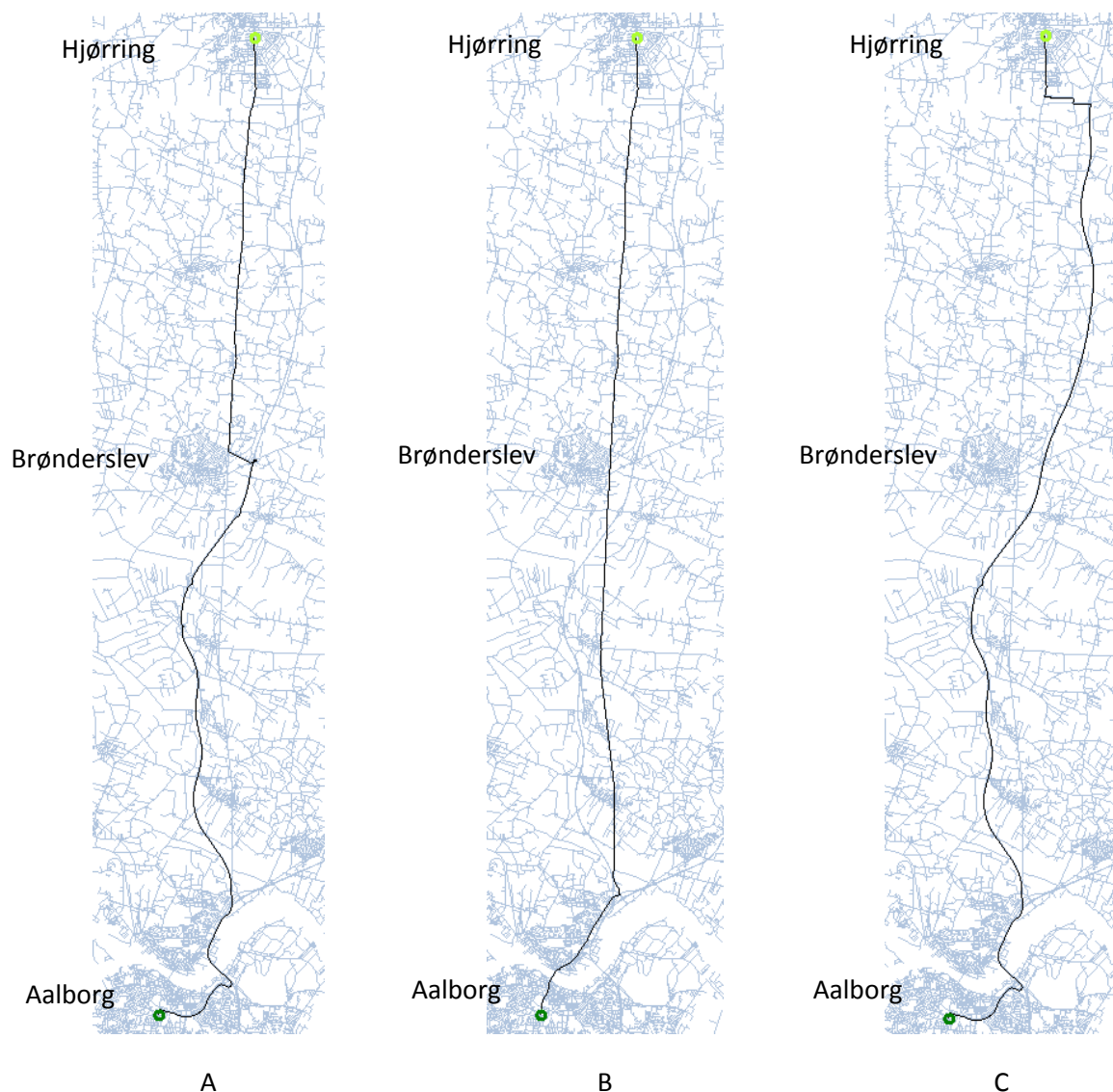
For at undgå at segmenter med få ture skal blive vægte skævt i forhold til segmenter med mange ture, skal der være mindst 100 ture på et segment før GPS data benyttes. Er der under 100 ture for et segment, så beregnes gennemsnits brændstofforbruget pr. meter for alle segmenter med mindst 100 ture, grupperet efter hastighedsgrænsen. Dette gennemsnitlige brændstofforbrug pr. meter ganges så op med længden af det enkelte segment med under 100 ture. Herved fås et gennemsnitligt beregnet brændstofforbrug. Det vil sige, at hvis segment ID=18, hvor der må køres 80 km/t, kun har tilknyttet 5 ture, så vil segment ID=18 få værdien af brændstofforbruget pr. meter for alle segmenter, hvor der må køres 80 km/t på og med mindst 100 ture, ganget op med længden af segment ID=18. Med denne løsning er det muligt at sætte et brændstofforbrug for alle segmenter i vejnetværket, hvor ved det bliver muligt at estimere brændstofforbruget mellem alle destinationer i området.

### Sammenligning af ture

Der vil i dette afsnit blive præsenteret tre forskellige ruter for tre typiske ture i Nordjylland. De tre ture dække både by- og landkørsel.

#### Fra Aalborg Sygehus til Hjørring Sygehus

I Figur 6 vises forskellige ruter mellem Sygehus Syd i Aalborg og sygehuset i Hjørring. Der er mange ture mellem disse destinationer (1000-1500 for motorvejen og 500-1000 for hovedvejen), da det er de to hovedsygehuse i Region Nord. Ruten vist i Figur 6A har den korteste distance. Ruten vist i Figur 6B er den mest brændstoføkonomisk og i ruten Figur 6C er den hurtigst (tidsmæssigt). Den korteste rute er fundet ved at lægge længderne for vejsegmenterne sammen fra det underliggende kort. Den mest brændstoføkonomiske er fundet som beskrevet i det foregående afsnit. Den hurtigste rute er fundet vha. de kørte ture. Den hurtigste rute er som den mest brændstoføkonomiske fundet vha. det samme sæt GPS data.



Figur 6: Aalborg Sygehus Syd til Hjørring Sygehus: A) Mindst brændstof B) Mindst distance C) Mindst tid

Det skal bemærkes, at både data og kort senest er fra 2008. Det vil sige at ændringer i vejnettet siden ikke er taget med (de målte GPS data vil ikke passe med et nyere vejkort pga. ændringer). I praksis betyder dette, at de større ændringer i vejnettet, der f.eks. har været på havnefronten i Aalborg, ikke er med.

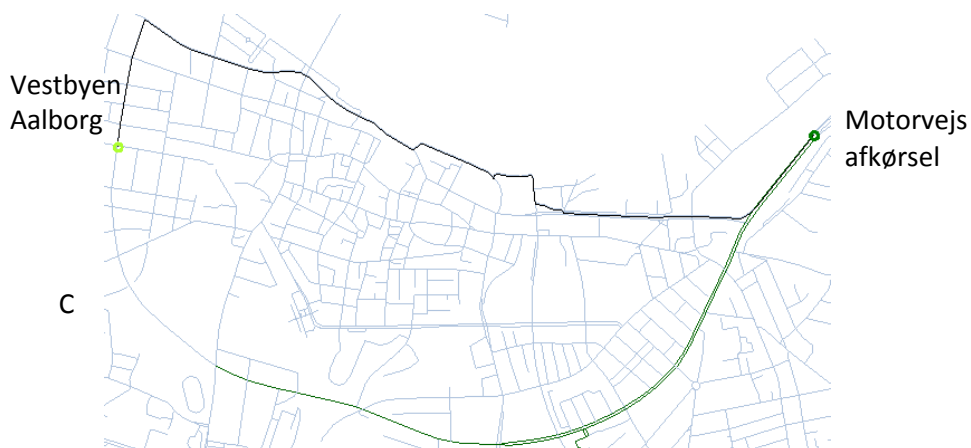
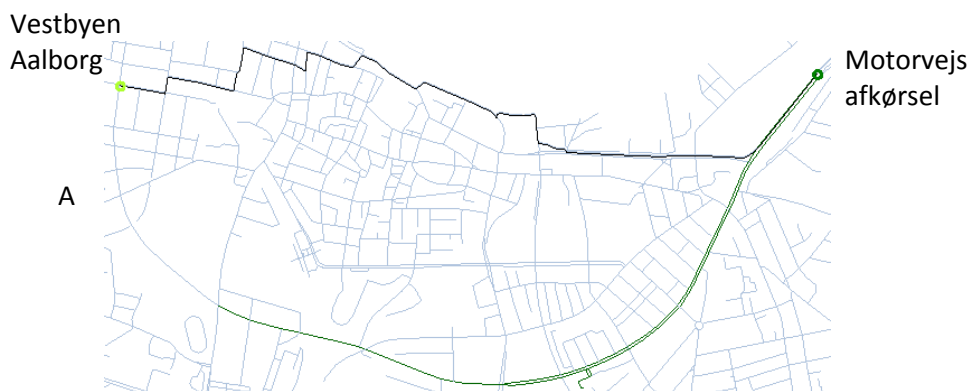
I Tabel 4 ses i rækken med navnet "Mindst brændstof" først længden af den mest brændstoføkonomiske rute (53,4 km). Dette er ruten vist i Figur 6A. Den næste celle viser det beregnede brændstofforbrug for en tur på denne rute (7254). Slutteligt viser den sidste celle den beregnede køretid (36:30 minutter). Rækken med navnet "Mindst distance" viser de tre metrikker distance, brændstof og tid for ruten i Figur 6B og række med navnet "Mindst tid" viser de tre metrikker for ruten i Figur 6C.

Sygehus Syd til Hjørring	Distance (km)	Brændstof	Tid (mm:ss)
Mindst brændstof, Figur 6A	53,4	7254	36:30
Mindst distance, Figur 6B	48,1	7564	48:54
Mindst tid, Figur 6C	54,5	7388	30:45

Tabel 4: Metrikker for ruterne Aalborg Sygehus Syd til Hjørring Sygehus



Den korteste rute krydser Limfjorden via broen og følger hovedvejen mellem Aalborg og Hjørring. Den hurtigste krydser Limfjorden via tunnelen og kommer på motorvejen hurtigst muligt. Den mest brændstoføkonomiske rute kommer også hurtigst muligt på motorvejen, krydser Limfjorden via tunnelen og tager motorvejen op til Brønderslev. Herefter køres på hovedvejen, og denne følges resten af turen. Det er interessant, at de tre ruter er forskellige. Det giver andre ruter at optimere for brændstof sammenlignet med optimering for distance eller tid. Bemærk at den korteste rute er betydelig langsommere end de to andre ruter. Det er den længere køretid og den mere ujævne hastighed på hovedvejen frem for den mere jævne fart på motorvejene der gør, at den korteste rute ikke er den mest brændstoføkonomiske. Ligeledes går hovedvejen gennem byerne Vestbjerg, Sulsted og Tylstrup, mens efter Brønderslev er der ingen byer frem mod Hjørring. Derfor kan det betale sig, mht. brændstof, at køre fra motorvejen i Brønderslev og fortsætte ad hovedvejen mod Hjørring.



Figur 7: Motorvej til Aalborg Vest (Vestbyen): A) Mindst brændstof B) Mindst distance C) Mindst tid

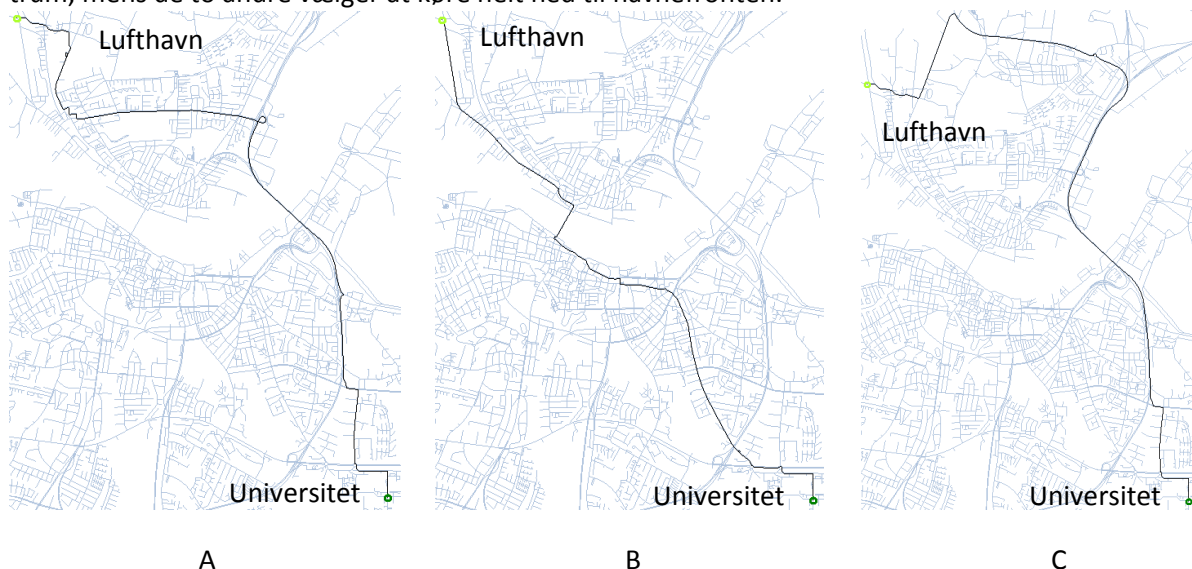
### Fra motorvejen til Aalborg Vest

I Figur 7 vises forskellige ruter mellem motorvejen og Vestbyen i Aalborg. Denne rute er interessant fordi Aalborg kommunes trafikplan forudsætter, at bilister mellem disse destinationer benytter Ring II i Aalborg (Østre Allé), som er markeret med grønne vejsegmenter på figurene. Tabel 5 viser de tre metrikker for de tre forskellige ruter i Figur 7.

Motorvej til Vestbyen	Distance (km)	Brændstof	Tid (mm:ss)
Mindste brændstof, Figur 7A	3,9	767	7:36
Mindste distance, Figur 7B	3,8	820	8:13
Mindste tid, Figur 7C	4,1	809	7:14

Tabel 5: Metrikker for ruten motorvejen til Vestbyen

Ruterne starter alle på Øster Allé, men ingen af ruterne følger denne. Alle tre ruter kører via havnen til Vestbyen, og er kun lidt forskellige. Kun mindste distance ruten vælger færdselsvejen nord omkring centrum, mens de to andre vælger at køre helt ned til havnefronten.



Figur 8: Aalborg Universitet til Aalborg Lufthavn A) Mindst brændstof B) Mindst distance C) Mindst tid

### Fra Aalborg Universitet til Aalborg Lufthavn

I Figur 8 vises forskellige ruter mellem Aalborg Universitet og Aalborg Lufthavn. Disse ruter er interessant, fordi bilister kan vælge at krydse Limfjorden via tunnelen eller via broen. Tabel 6 viser de tre metrikker for de tre forskellige ruter fra Figur 8.

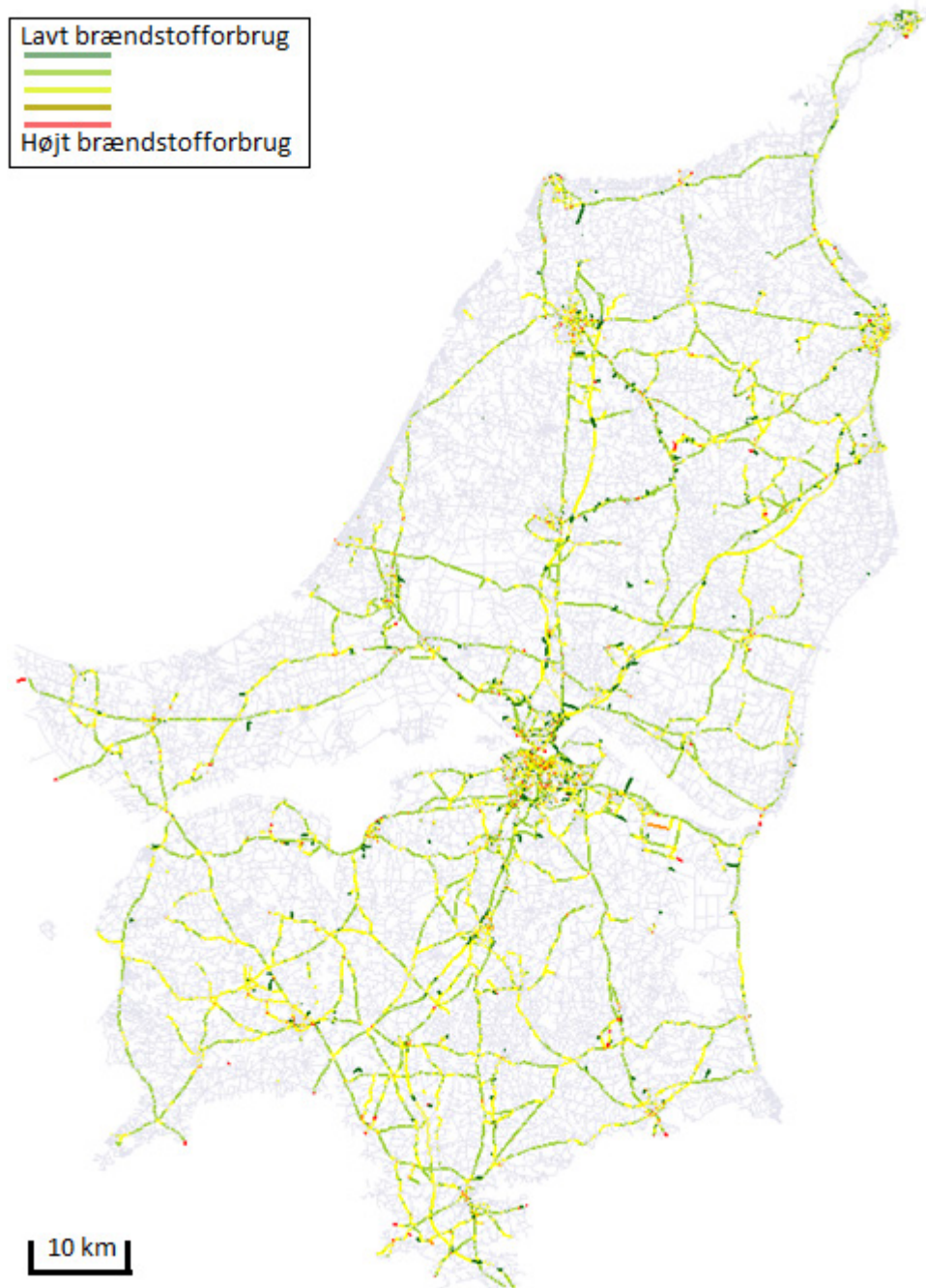
Universitet til lufthavn	Distance (km)	Brændstof	Tid (mm:ss)
Mindste brændstof, Figur 8A	13,3	1753	13:39
Mindste distance, Figur 8B	11,5	2363	21:06
Mindste tid, Figur 8C	15,6	2041	12:32

Tabel 6: Metrikker for ruten universitet til lufthavn.

Bemærk først, at den hurtigste rute også er den længste (35 % længere end den korteste). Ligeledes er ruten med mindste brændstofforbrug 35 % mindre brændstofforbrugende end den korteste rute, og 16 % mindre brændstofforbrugende end den hurtigste. Tidsmæssigt er der ligeledes stor forskel, over 68 % mellem den hurtigste og langsomste.

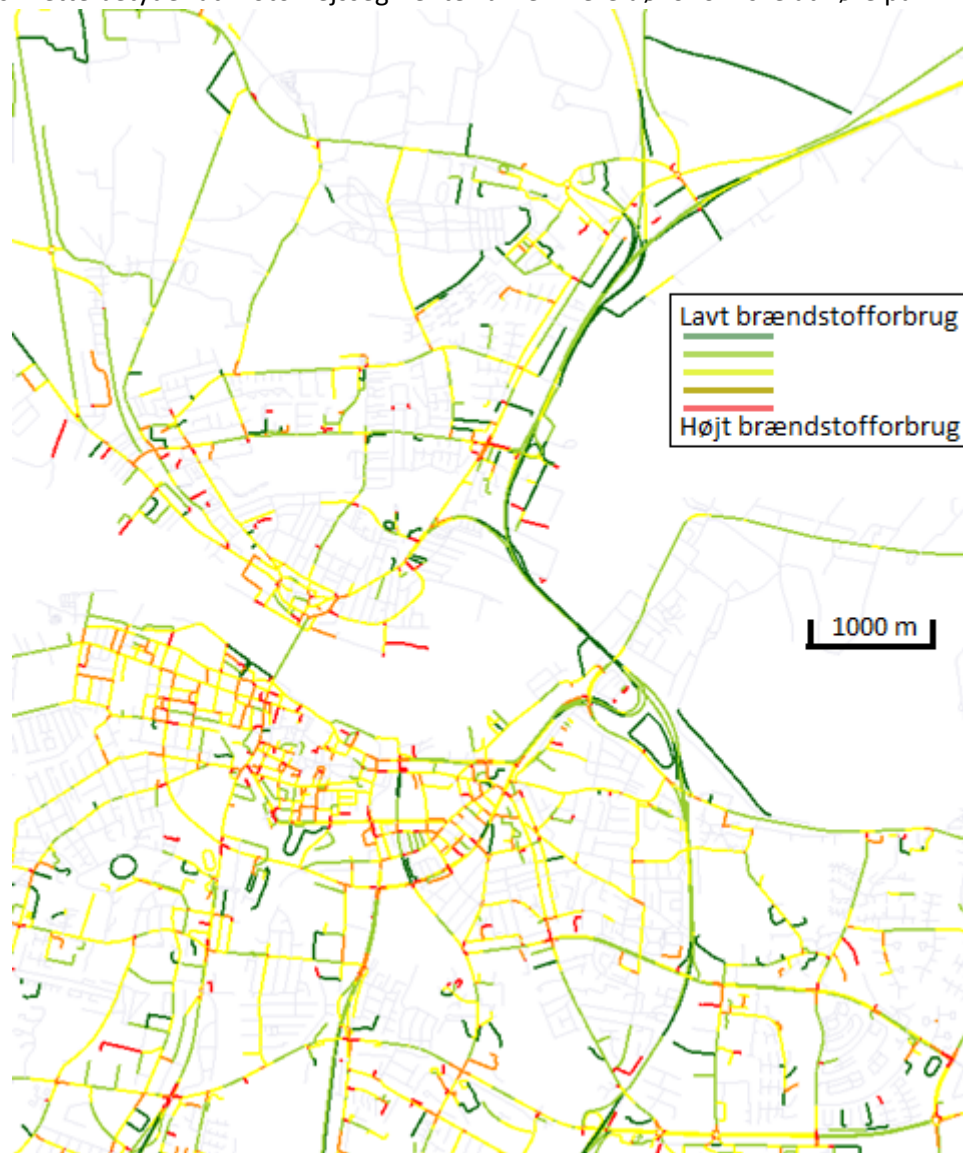
### Brændstofforbrugets geografi

Brændstofforbruget i Nordjylland kan ses på kortet i Figur 9. Her er det gennemsnitlige brændstofforbrug regnet ud pr. meter vejstrækning for hvert segment for vejsegmenter med over 100 ture er vist på figuren. Brændstofforbruget er vist med farver, skiftende fra mørk grøn over gul til rød, alt efter om vejsegmentet har lavt, mellem eller højt brændstofforbrug pr. meter. Bemærk, at højt brændstofforbrug oftest forekommer i byerne, mens landevejene har et lavt eller mellem brændstofforbrug. Det er interessant, at motorveje generelt har et mellem brændstofforbrug, hvor hovedveje varierer mellem et lavt og mellem forbrug.



Figur 9: Brændstofforbrugskort over Nordjylland

Figur 10 viser et kort over Aalborg og Nørresundby, hvor det ses at de fleste veje har et mellem brændstofforbrug. Herudover ses det at visse knudepunkter har et højt brændstofforbrug. Dette er sandsynligvis tæt forbundet med trængsel. Kortet viser, at det billigste sted at færdes pr. meter generelt er på motorvejene, så længe hastighedsgrænsen er 110km/t. Når hastighedsgrænse er 130kmt/t så stiger de kørte hastighederne ligeledes. Dette betyder at motorvejssegmenter bliver mere uøkonomiske at køre på.



Figur 10: Brændstofforbrugskort over Aalborg og Nørresundby

## Diskussion

I dette afsnit diskuteres styrker og svagheder ved den foreslåede metode til brændstoffestimering. Herefter diskuteres de udfordringer, der har været ved at anvende et eksisterende sæt af GPS målinger til estimering af brændstofforbrug.

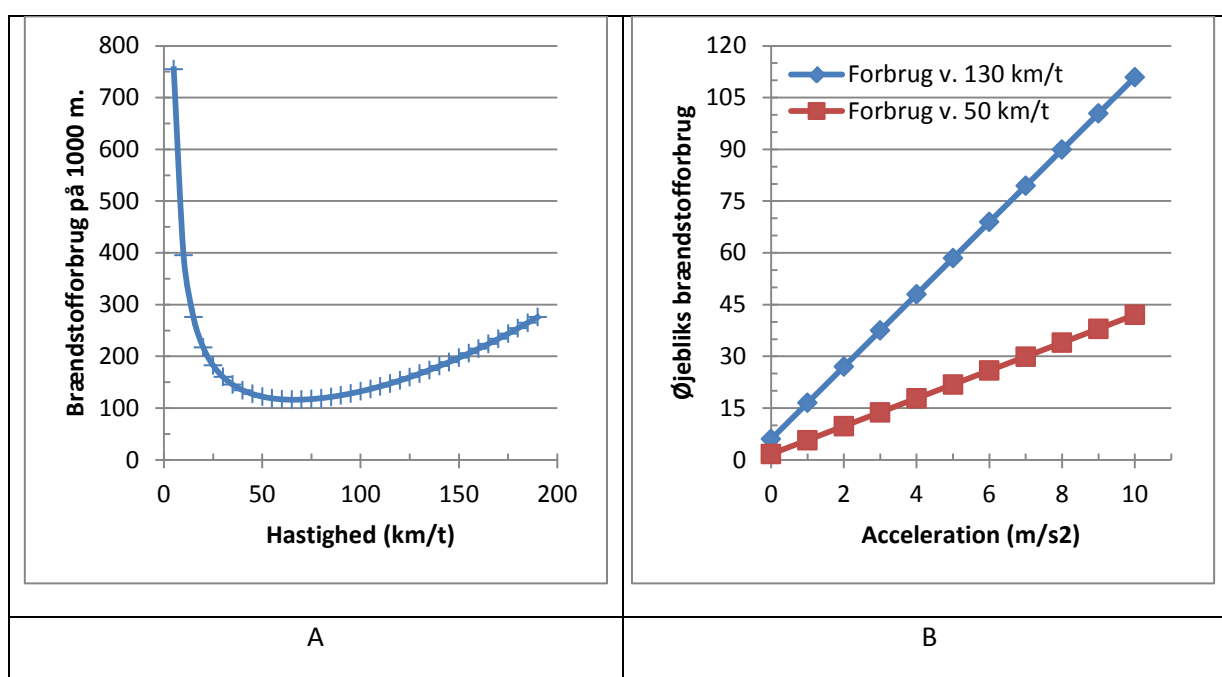
## Metode

I det efterfølgende diskuteres fordele og ulemper ved brændstofestimeringsmetoden.

### Fordele

En fordel ved estimeringsmetoden er, at den er "gratis", hvis der er adgang til GPS data der indsamles i anden anledning, f.eks. flådestyringsanlæg. Med gratis menes, at metoden blot anvender GPS målinger til et nyt formål: estimering af brændstofforbrug. Det er altså ikke nødvendigt at installere et nyt apparat i køretøjerne.

I selve estimeringen af brændstofforbruget straffes både for lav hastighed og for høj hastighed. Dette er vist i Figur 11A. Her vises det estimerede brændstofforbrug ved at køre 1.000 meter med konstant fart ved forskellige hastigheder. Tilsvarende straffes ujævn kørsel, hvor der er mange accelerationer. Dette er vist i Figur 11B hvor brændstofforbruget ved forskellige accelerationer er vist for 50 km/t og 130 km/t.



Figur 11: A) Brændstofforbrug for at køre 1.000 meter B) Brændstofforbrug ved acceleration

Det er ligeledes interessant at estimering af brændstof er en metrik, hvor en dobbelt så høj værdi svarer til et dobbelt så stort brændstofforbrug. Det er altså muligt overfor f.eks. flådeejere at komme med estimater på, hvad de kan spare i brændstof procentvis, hvis der optimeres for minimalt brændstof i stedet for hurtigste rute (bemærk her ses bort fra timelønnen for at have en chauffør i et køretøj).

### Ulemper

En ulempe ved estimeringsmetoden er, at den ikke beregner det faktiske brændstofforbrug f.eks. at en rute kræver 3.1 liter brændstof. Et sådan tal er naturligvis stærkt afhængigt af det konkrete køretøj, f.eks., VW Polo BlueMotion versus en ældre Cadillac. Yderligere er det nødvendigt at kende mange andre parametre, såsom bilens vedligeholdelsestilstand f.eks. dæktrykket. Set i dette lys vurderes det kun at være muligt at beregne det faktiske brændstofforbrug, hvis disse data indsættes med GPS målingerne. Dette vil kræve at data fra bilens elektroniske indsprøjtning logges sammen med GPS målingerne. Derfor er det estimeret brændstofforbrug det bedste, der kan opnås vha. GPS målinger som dem, der anvendes i denne artikel, og som der generelt er nem adgang til.

En begrænsning ved metoden er, at estimatet kun er gældende for en gennemsnitlig personbil (en VW Jetta er brugt i (20)). I den nuværende implementering af metoden tages der ikke højde for om det er en personbil, busser, lastbiler eller varevogne. Dette er udelukkende pga. data mangel. Er der tilstrækkeligt data til-

gængeligt for f.eks. varevogne, og disse kan skelnes fra personbiler i dataene, kan disse implementeres med den metode, der præsenteres her i denne artikel. Det kræver naturligvis, at brugeren vælger mellem de forskellige køretøjs typer når en optimal brændstoføkonomisk rute skal findes.

Estimeringsmetoden er meget data krævende da GPS målinger skal opsamles med en høj frekvens (en måling per sekund). Det er altså ikke muligt at anvende eksisterende GPS målinger, der er opsamlet f.eks. hver 15 sekund. Der er forholdsvis mange GPS målinger tilgængelige optaget med 15 til 60 sekunders mellemrum. Disse data kan ikke anvendes af metoden præsenteret her. For at anvende disse data vil det kræve væsentlige forbedringer af bl.a. map-matching algoritmer.

Hvis der eksisterer områder med dårlig dækning mht. GPS signalet f.eks. at der ofte er udfald er estimering af brændstofforbrug for disse områder dårligere end områder, hvor der mange anvendelige GPS målinger. Løsningsforslaget i denne artikel tager ikke højde for områder med få GPS målinger eller ringe GPS signal. I sådanne områder kan brændstofforbruget estimeres ved at anvende vejklasser så som motor- eller hovedvej. Ideen er at brændstofforbruget for en vejklasse beregnes for områder med mange GPS målinger. Dette brændstofforbrug overføres til den samme vejklasse i områder med få GPS målinger.

Det estimerede forbrug for at køre på et segment, der er en del af et veikryds, er det samme om man kører lige ud eller drejer. Det vil sige, at estimering af brændstofforbruget kun i begrænset omfang tager højde for, at det oftest er mere brændstofforbrugende at dreje til venstre og højre i et kryds end at køre lige ud. Det betyder, at de ruter der er optimale mht. estimeret brændstofforbrug kan have for mange sving og at dette føre til upraktiske ruter. På den anden side har optimering for distance akkurat det samme problem. Brændstofforbruget afhænger vejret, både vindretning og vindstyrke, men også af om der er regn eller sne på kørebanen. Metoden tager kun dette med i betragtningen, hvis fx regn og sne fører til forlængelse af køretiden eller til ujævn kørsel. At tage højde for vejret vil være en stor udfordring både mht. data tilgængelighed og data integration. En realistisk tilgangsvinkel er at estimere brændstofforbruget f.eks. måneds eller kvartalsvis for på den måde at se, om der er forskel i det estimerede brændstofforbrug f.eks. om sommeren versus om vinteren.

## Brug af eksisterende kort og GPS data

Resultaterne i denne artikel er fremkommet ved at bruge det kort og de GPS målinger, der er tilgængelige fra projektet *Spar på Farten*. Dette kort og data har oprindeligt været brugt til at lave intelligent hastigheds-tilpasninger. I denne artikel er kortet og data brugt til et andet formål og dette har skabt nogle udfordringer.

Den første udfordring er, at der ikke er nogen højdeangivelse på kortet. Ligeledes er GPS positionerne ikke ledsaget af et højdekoordinat (z-koordinat), fordi z-koordinaten, på den type GPS modtagere, der benyttes til GPS-systemer monteret i biler, er meget upræcis (24). I den oprindelige formel, som bruges til estimering af brændstofforbruget, er højde med i beregningerne. En mulighed kunne være, at inddrage en tredjeparts kilde til angivelse af højdekoordinater ud fra specifikke positioner og selv tilføje højdekoordinater til GPS positioner, da det kan antages køretøjer følger jordens overflade. Indenfor dette projekts økonomiske rammer har dette dog ikke været muligt.

Som det næste er kortet ikke helt nøjagtigt. Som et eksempel, er den skilte hastighed i alle gågader i Aalborg 15 km/t selv om man ikke må køre på gågaderne medmindre man læsser varer af om formiddagen. For at undgå at få ruter ad disse veje har vi ikke medtaget veje med en skiltet hastighed på 15 km/t eller derunder. Tilsvarende er der busveje, hvor det ifølge kortet er tilladt at køre. Vi har efter bedste overbevisning modificeret kortet så disse veje ikke anvendes i nogle af de foreslåede ruter.

En tredje udfordring har været behandling af de vejsegmenter, som kun har få eller slet ingen ture tilknyttet og hvor usikkerheden på et beregnet gennemsnit vil være stor. Vi har i de tilfælde, hvor der er under

100 ture på et vejsegment estimeret brændstofforbruget som gennemsnittet af andre veje, hvor hastighedsgrænsen er den samme og med mere end 100 ture.

## Optimering af brændstofforbrug/tid/distance og funktionel vejnetplanlægning

I denne artikel har vi diskuteret optimering af rutevalg ud fra hhv. brændstofforbrug, tid og distance. Problemet ved alle tre metoder er, at de optimerer ud fra en enkelt omkostningsfaktor og ikke ud fra en samlet omkostningsopgørelse. Det næste problem er, at metoderne optimerer ud fra den enkelte trafikants perspektiv og ikke ud fra et samfundsperspektiv. Når et vejnet planlægges, sker det ud fra funktionelle principper, hvor vejene opdeles i lokalveje, trafikveje og overordnede trafikveje, og hvor vejenes udformning og skiltning efterfølgende etableres, så denne funktionelle opdeling understøttes. Formålet er, at få trafikken til at køre på de veje, der for den samlede trafik giver størst mulig mobilitet med færrest miljøomkostninger. Hvis vi tager turen fra Sygehus Syd i Aalborg til Hjørring – figur 6 – er den mest energiøkonomiske rute at forlade motorvejen ved Brønderslev og derfra køre ad den gamle landevej. Problemet med denne optimering er, at den ikke indregner f.eks. de samfundsmæssige omkostninger ved trafikulykker. Var disse omkostninger indregnet ville motorvejen måske have været ruten med de mindste samlede samfundsmæssige omkostninger. På denne måde udfordrer moderne navigationsanlæg og dermed også den her præsenterede metode den traditionelle trafikplanlægning, hvor forudsætningen har været, at trafikanterne i overvejende grad fulgte den fysiske udformning, den skiltning og den rutevejledning som trafikplanlæggeren har valgt for at understøtte den funktionelle klassificering af vejnettet.

## Konklusion

Denne artikel har brugt eksisterende GPS målinger til at estimere brændstofforbruget for forskellige ruter mellem to destinationer. I estimeringen er en eksisterende metode til beregning af brændstofforbrug for en tur brugt. Ud fra disse ture er det estimerede brændstofforbrug tilføjet vejsegmenterne i et digitalt kort. Dette kort er brugt til at finde den korteste rute, den hurtigste rute og den mest brændstoføkonomiske rute mellem to punkter. Disse ruter er blevet sammenlignet for tre forskellige scenarier med både by- og landkørsel.

Ud fra de beregnede ture kan det ses, at der er en klar forskel mellem ruter, der optimerer for korteste rute, hurtigste rute og mindst brændstoføkonomiske rute. Det vil sige at estimering af brændstofforbrug giver en ny parameter til ruteoptimering i GPS navigationsanlæg.

Hvis der ses på brændstofforbruget generelt, så er det brændstofbesparende at reducere hastighederne på motorvejene fra 130 km/t til 110 km/t. Desuden kan der indikeres en sammenhæng mellem trængsel og brændstofforbrug, da der ofte er højere brændstofforbrug i byområder, med tættere trafik. Herudover er det brændstoføkonomisk fornuftigt at køre med konstant hastighed, da det er eftervist at accelerationer er dyre, brændstofmæssigt. Det betyder, at fartpiloter, som sikrer en konstant hastighed, kan være en økonomisk fornuftig investering.

Der er en række interessante retninger for videre arbejde. Estimeringen af brændstofforbrug er meget datakrævende. Det er derfor relevant at se på hvordan veje, hvor der er ingen eller få GPS målinger på kan indgå i beregninger. Tilsvarende er der store mængder GPS data med lav opsamlingsfrekvens, som ikke er benyttet.

## Acknowledgement

Vi vil gerne takke Daisy Innovation for finansielle støtte og Projekt Spar på Farten og FlexDanmark for at levere data.

## Referencer

1. *Road vehicle state estimation using low-cost GPS/INS*. **Leung, King Tin, et al., et al.** 6, s.l. : Mechanical Systems and Signal Processing, 2011, Årg. 25. 0888-3270.
2. *Detailed Speed and Travel Time Surveys using Low Cost GPS Equipment*. **Belliss, Graeme.** s.l. : IPENZ Transportation Group Technical Conference, 2004.
3. *GPS pilotprojekt*. **Holm, J. og Foller, Jens.** 2008. Trafikdage på Aalborg Universitet.
4. *Analyse af trængsel og hastigheder vha. GPS-data*. **Nielsen, Otto A.** 2003. Trafikdage på Aalborg Universitet.
5. *Køretider, trængselsgrader og forsinkelser i kryds beregnet ud fra Floating Car Data*. **Torp, Kristian og Lahrmann, Harry.** Aalborg : Trafikdage Aalborg Universitet, 2009.
6. **Garmin.** ecoRoute. [Online] <http://www.garmin.com/garmin/cms/us/services/ecoRoute>.
7. —. ecoRoute flash application. [Online] <http://www8.garmin.com/buzz/ecoroute/>.
8. —. ecoRoute overview. [Online] <http://www.staples.com/sbd/img/rebates/pdfs/ecoroute.pdf>.
9. **Vexia.** econav. [Online] <http://www.vexia.co.uk/>.
10. **Carbon Diem.** Carbon Diem. [Online] <http://www.carbondiem.com/>.
11. **Minorplanet.** VMIgreenlight. [Online] <http://www.minorplanet.com/>.
12. **Lysanda.** Eco-Log. [Online] <http://www.lysanda.com/>.
13. *Environmentally-Friendly Navigation*. **Barth, Matthew, Boriboonsomsin, Kanok og Vu, Alex.** 2007, Intelligent Transportation Systems Conference, 2007. ITSC 2007. IEEE, s. 684 -689.
14. *Fuel use and emissions comparisons for alternative routes, time of day, road grade, and vehicles based on in-use measurements*. **Frey, H. Christopher, Zhang, Kaishan og Roupail, Nagui M.** 2008, Environ Sci Technol, Årg. 42, s. 2483–2489.
15. *The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions*. **Ahn, Kyounggho og Rakha, Hesham.** 2008, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Årg. 13, s. 151 - 167.
16. *Optimizing route choice for lowest fuel consumption - Potential effects of a new driver support tool*. **Ericsson, Eva, Larsson, Hanna og Brundell-Freij, Karin.** 2006, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Årg. 14, s. 369 - 383.
17. *Impacts of Road Grade on Fuel Consumption and Carbon Dioxide Emissions Evidenced by Use of Advanced Navigation Systems*. **Barth, Matthew og Boriboonsomsin, Kanok.** 2009 : s.n., Transportation Research Record, Årg. 2139, s. 21-30.
18. **Andersen, Ove.** *Økonomisk og miljøhensigtsmæssig ruteplanlægning*. 2010.
19. *Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels*. **Ahn, Kyounggho, et al., et al.** 2002, Journal of Transportation Engineering, Årg. 128.



20. *Aggregate Fuel Consumption Model of Light-Duty Vehicles for Evaluating Effectiveness of Traffic Management Strategies on Fuels.* **Song, Guohua, Yu, Lei og Wang, Ziqianli.** 9, 2009, Journal of Transportation Engineering, Årg. 135, s. 611-618.
21. **Jimenez-Palacios, Jose Luis.** *Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing.* Massachusetts Institute of Technology. 1999.
22. *Spar på Farten-et forsøg med Intelligent Farttilpasning baseret på incitament (forsikringsrabat).* **Lahrmann, Harry, et al., et al.** s.l. : Trafikdage på Aalborg Universitet, 2007.
23. **Lahrmann H, Agerholm N, Tradisauskas N, Berthelsen K. K., Harms L.** Pay as You Speed, ISA with incentive for not speeding: Results and interpretation of speed data. *Accident Analysis & Prevention.* In Press, Available online 9 April 2011, ISSN 0001-4575, DOI: 10.1016/j.aap.2011.03.015..
24. **Mehaffey og Joe.** Altitude Accuracy. *gpsinformation.net.* [Online] 2. Oktober 2001. [Citeret: 02. 03 2012.] <http://gpsinformation.net/main/altitude.htm>.
25. Spar På Farten. [Online] 02. 03 2012. [Citeret: 02. 03 2012.] <http://www.sparpaafarten.dk>.