



Metoder til trængselsopgørelse ved brug af GPS-data

Methods for estimating congestion by the use of GPS data

Aalborg Universitet
Vej- og Trafikteknik
Niels Thorup Andersen
Kristian Skoven Pedersen

14/6 2007

Titel: Metoder til trængselsopgørelse
ved brug af GPS-data

Tema: Afgangprojekt

Projektperiode: 1/2 2007 - 14/6 2007

Deltagere:

Niels Thorup Andersen

Kristian Skoven Pedersen

Vejleder: Harry Lahrmann
Niels Agerholm
Nerius Tradisaukas

Oplagstal: 6

Sideantal: 113 sider hovedrapport

**Bilagsantal
og -art:** 3 bilag fordelt på 14 sider bagerst
i rapporten

Synopsis:

Dette projekt har til formål at undersøge metoder til at beskrive trængsel vha. GPS-data. Således er der gennemført et litteraturstudie for at klarlægge andres erfaringer med samme emne.

Som udgangspunkt søges det at validere data for herved at kunne vurdere sikkerheden, hvormed resultater er bestemt. Dette gøres ved at sammenligne resultater fra beregninger med GPS-data med hhv. Mastratællinger og Dankap-beregninger. Af disse fremgår det, at der skal summeres over hverdage og for perioder af mindst tre timer for at opnå valide resultater.

Ved at opdele trafikken i separate strømme er det muligt at analysere kryds på lige fod med strækninger. Trængselsanalyserne foretages ved en sammenligning mellem en aktuel situation og en situation uden trængsel, hvorved den øgede rejsetid eller sænkede rejsehastighed vil være et udtryk for trængslen.

Der er blevet udviklet en række programmer til behandling af data. På baggrund af disse og den valgte strøminddeling vurderes det muligt at opnå en præcis beskrivelse af trængslen på et vejnet, såfremt der er tilstrækkeligt data til rådighed.

Forord

Denne rapport er udarbejdet som dokumentation for 10. semester på Aalborg Universitets B-sektor under specialiseringen Vej- og Trafikteknik i projektperioden 1. februar 2007 til 14. juni 2007. Under temaet "afgangsprojekt" har denne rapport til formål at dokumentere anvendelsen af videnskabelige teorier og metoder på et højt fagligt niveau.

Rapporten er bygget op som én samlet rapport, hvor bilagene følger efter selve hovedrapporten. Der refereres løbende til bilagene i hovedrapporten.

Kildehenvisninger i hovedrapporten er angivet, jf. Harvardmetoden, i parenteser, og indeholder kildens forfatter samt udgivelsesåret. Eksempel: (Aalborg Kommune 2006). Ved ens kildehenvisninger skelnes ved tilføjelse af alfabetisk nummerering. Eksempel: (Aalborg Kommune 2006a). Yderligere oplysninger om den enkelte kilde findes i referencelisten bagest i rapporten.

Tabeller og figurer er nummereret fortløbende jf. kapitelnummeret. Figur 5.3 er således figur nummer 3 i kapitel 5, mens tabel 2.1 er tabel nummer 1 i kapitel 2.

På kortene i rapporten er nord opad, medmindre andet er angivet. Alle luftfotos er hentet fra Google Maps (Google 2007).

Slutteligt rettes en stor tak til Troels Larsen for udarbejdelse af software til projektet. Herudover rettes en tak til vejlederne på projektet for hjælp til dataudtræk og kyndig vejledning generelt. Endeligt takkes Aalborg Kommune for at stille trafiktællinger til rådighed.

Aalborg Universitet, juni 2007

Indholdsfortegnelse

Summary	3
Resumé	7
Kapitel 1 Indledning	11
Kapitel 2 Problemanalyse	13
2.1 Trængslens konsekvenser	13
2.2 Metoder til dataindsamling	14
Kapitel 3 Litteraturstudier	21
3.1 Trængselsparametre	21
3.2 Trængselsdefinitioner	23
3.3 Projekter med Floating Car	25
Kapitel 4 Problemformulering	35
4.1 Problemformulering	35
4.2 Afgrænsning	39
Kapitel 5 Analysemetoder	41
5.1 Videnskabsteoretisk tilgang	41
5.2 Overordnet analysemetode	42
5.3 Analyseparametre	43
Kapitel 6 Beregningsmetoder	49
6.1 Overordnet sammenhæng mellem trafik og vejnet	49
6.2 Forarbejdning af GPS-data	50
6.3 Aktuel hastighed	54
6.4 Free-flow-hastighed	55
6.5 Validering	60
Kapitel 7 Validering	65
7.1 Testområde	65
7.2 Resultater	66

7.3	Sammenligning med Dankap	69
7.4	Delkonklusion	72
Kapitel 8	Forundersøgelse	75
Kapitel 9	Afprøvning af metoder	79
9.1	Bestemmelse af free-flow-hastigheder for en strækning	79
9.2	Bestemmelse af free-flow-hastigheder for et kryds	81
9.3	Valg af free-flow-metode	83
9.4	Bestemmelse af aktuelle hastigheder	84
9.5	Resultater af trængselsanalyser	85
Kapitel 10	Anvendelsesmuligheder	91
10.1	Eksempel: Vesterbro	91
10.2	Eksempel: Motorvej E45	94
10.3	Opskalering af trængsel for en strækning eller et kryds	96
10.4	Opskalering af trængsel for et vejnet	100
Kapitel 11	Konklusion	105
Kapitel 12	Perspektivering	109
	Referenceliste	111
	Bilagsrapport	115
Bilag 1	Forarbejdning af GPS-data	117
Bilag 2	Reducering af hastighedslogninger	119
Bilag 3	Dankap-beregninger	123

Summary

With the purpose of describing and confining the initiative problems regarding estimation of congestion by the use of GPS data the consequences of congestion is initially described. Additionally, a review of both traditional and more recent methods for collecting data on the area of traffic engineering has been conducted.

Through literature studies it is sought to elucidate diverse definitions of congestion with the selection of a generally applicable definition in mind, which will be used in this project. This has resulted in the following definition of congestion, which focuses on the phenomenon of congestion and not on what causes it or the consequences hereof:

- “Congestion reflects the inconveniences motorists impose on each other in the form of reduced freedom of movement when they move about the traffic system.”

Furthermore, a selection of national as well as international projects that are concerned with estimating congestion by the use of data from fleets of vehicles have been examined with focus on fleet sizes and logging frequencies, among other things. Based on the above the overall problem formulation is as follows:

- How can a general method for registration, analysis and quantification of congestion be developed so that it on background of GPS data from a fleet of vehicles can be utilised for any given road system?

In order to answer this question the project’s analyses has been constructed as before and after studies. The overall analytical method thereby consists of a comparison of a situation with congestion and a situation without congestion – a free-flow situation.

This comparison is carried out in practice by using a number of software programmes that have been developed in co-operation with a computer science student. These programmes have been designed from the consideration that traffic consists of a number of flows. Thus, an overall geographical limitation for the collection of data is selected along with two boxes whereby the programmes aggregate the

individual loggings to trips in the flows between the defined boxes.

On the basis of the selected trips actual cruising speed or travel time can be determined for the individual flows as indicators for the actual situations for which the degree of congestion is wished determined.

As a direct consequence of the above-mentioned definition of congestion the situation without congestion – the free-flow situation – must be defined as a situation where the individual driver is not influenced by additional traffic. Hence, different methods for approaching such situations are described, evaluated and tested, which have resulted in that free-flow speeds for this project are determined as average cruising speeds in the time period from 8 PM to 6 AM where the possibility of free-flow situations are greatest. In order to avoid influences from signal control systems, which can be characterised as indirect influences of additional traffic, all trips that contain one or more speed loggings on 0 km/h are segregated. Furthermore, a method by which all speed loggings that exceed the actual speed limit are lowered to match this speed limit. By using this method it is avoided that violations of the actual speed limit can raise the calculated free-flow speed and thereby also the recorded congestion and the socio-economic costs hereof.

In the execution of a validation of the GPS data set it is concluded that the analyses' degree of detail with a data set this size should be limited to an estimation over time periods of three hours, which are summarised over all weekdays in the period in which data has been collected. The validation has been carried out as a comparison between GPS data for a selected section of Østre Allé and a mechanical conducted stationary traffic count from the aforementioned section. Additionally, a comparison between delays determined on the basis of the GPS data set and delays calculated with the software programme Dankap has been conducted.

When there is an expression for cruising speed in situations with and without congestion respectively the congestion related expenditure of time – the delay – can be determined if the length of the distance travelled is known. By using traffic counts for the analysed periods of time the calculated delays can be scaled up to represent the total traffic in the analysed flows. Thus, the total socio-economic costs associated to the congestion in the analysed periods of time are estimated by introducing socio-economic uniform prices for expenditure of time.

The above described procedure can scale up the calculated delays so that it represents the total intensity of traffic on a stretch of road or in an intersection. By applying the consideration of traffic as flows to a whole road system the described methods could also measure the total delays and costs of a whole road system.

Resumé

For at beskrive og indsnævre de initierende problemstillinger omkring trængselsopgørelse ved brug af GPS-data er trængslens konsekvenser indledningsvist beskrevet. Udover dette er der foretaget en gennemgang af traditionelle og nyere dataindsamlingsmetoder på det trafiktekniske område.

Gennem litteraturstudier er det søgt at belyse forskellige bud på en definition af trængsel med henblik på udvælgelse af en almenyldig definition til brug i dette projekt. Dette har resulteret i følgende definition, der fokuserer på fænomenet trængsel og ikke årsager hertil eller konsekvenser heraf:

- *"Trængsel er et udtryk for de gener, som trafikanterne påfører hinanden i form af nedsat bevægelsesfrihed, når de færdes i trafiksystemet."*

Herudover er et udvalg af såvel nationale som internationale projekter omhandlende trængselsopgørelse ved brug af data fra flåder af køretøjer gennemgået med fokus på bl.a. flådestørrelser og logningsfrekvenser.

På baggrund af det ovenstående er problemets overordnede problemstilling formuleret som følger:

- *Hvordan kan en generel metode til registrering, analyse og kvantificering af trængsel udformes, således den på baggrund af GPS-data fra en flåde af køretøjer kan benyttes for ethvert vejnet?*

For at besvare dette spørgsmål er det valgt at udforme projektets analyser som før/efter-undersøgelser. Den overordnede analysemetode består derved i en sammenligning af en situation med trængsel og en situation uden trængsel - en free-flow-situation.

I praksis udføres disse sammenligninger ved brug af en række EDB-programmer, som er udarbejdet i samarbejde med en datalogistuderende. Disse programmer er designet ud fra en betragtning af trafikken som bestående af en mængde strømme. Således udvælges ved brug af programmet en overordnet geografisk afgrænsning for dataudvælgelsen samt to bokse, hvorved programmerne aggregerer de

enkelte logninger til ture i strømmene mellem de definerede bokse.

Ud fra de udvalgte ture kan aktuelle rejsehastigheder eller rejsetider bestemmes for de enkelte strømme som udtryk for de aktuelle situationer, for hvilke graden af trængsel ønskes opgjort.

Som en direkte konsekvens af den ovennævnte definition af trængsel, må situationen uden trængsel - free-flow-situationen - defineres som en situation, hvor den enkelte bilist ikke er under påvirkning af øvrig trafik. Således er forskellige metoder til tilnærmelse af sådanne situationer beskrevet, vurderet og afprøvet. Dette har resulteret i, at free-flow-hastigheder for dette projekt bestemmes som gennemsnitlige rejsehastigheder i perioden 20.00-06.00, hvor der er størst sandsynlighed for free-flow-situationer. For at undgå påvirkninger fra signalanlæg, der kan karakteriseres som indirekte påvirkninger fra øvrig trafik, frasorteres alle ture, indeholdende én eller flere hastighedslogninger på 0 km/t. Yderligere er der udviklet en metode, hvorved alle hastighedslogninger, der overskrider den aktuelle hastighedsgrænse, kan nedjusteres hertil. Ved brug af denne metode undgås det, at overtrædelser af den gældende hastighedsgrænse er med til at højne den beregnede free-flow-hastighed og dermed også den registrerede trængsel og de samfundsøkonomiske omkostninger heraf.

Ved udførelse af en validering af GPS-datasættet er det konkluderet, at analysernes detaljeringsgrad med et datasæt af denne størrelse, bør begrænses til en opgørelse over perioder på tre timer, der summeres over alle hverdage i den periode, der haves data for. Valideringen er udført som en sammenligning af GPS-data for et udvalgt snit på Østre Allé med en maskinelt udført snittælling fra samme snit. Herudover er der foretaget en sammenligning mellem forsinkelser bestemt ud fra GPS-datasættet og forsinkelser beregnet med EDB-programmet Dankap.

Når der haves et udtryk for rejsehastigheden i situationerne henholdsvis med og uden trængsel, kan det trængselsrelaterede tidsforbrug - forsinkelsen - bestemmes, hvis også længden af den tilbagelagte distance kendes. Ved brug af trafiktællinger for de analyserede perioder kan de beregnede forsinkelser opskaleres til at repræsentere den samlede trafik i de analyserede strømme. Således kan de samlede samfundsøkonomiske omkostninger, forbundet med trængslen i de analyserede perioder, estimeres ved indførelse af samfundsøkonomiske enhedspriser for tidsforbrug.

Den ovenfor beskrevne fremgangsmåde kan opskalere de beregnede forsinkelser til at repræsentere de samlede trafikmængder på en strækning eller i et kryds. Ved at overføre betragtningen af trafikken som strømme til et helt vejnet vil de beskrevne metoder også kunne opgøre de samlede forsinkelser og omkostninger for et samlet vejnet.

1 Indledning

Efter 2. Verdenskrig blev bilen for alvor et populært transportmiddel i Danmark. Dette medførte en kraftig forøgelse i trafikmængden, hvilket resulterede i trængselsproblemer på vejene, som søgtes afhjulpet ved forøgelse af kapaciteten i form af gadegennembrud, omfartsveje og senere også motorveje. Med udsigten til et trafikarbejde, der tilsyneladende steg uden noget synligt mætningspunkt, begyndte de kritiske røster at melde sig. Hvornår er det nok? Således var generne ved biltrafik for alvor begyndt at vise sig i form af forurening, støj og trængsel. Derfor blev gadegennembruddene opgivet og mere beherskede metoder taget i brug. (Thagesen 2000)

Oliekriserne i 1970'erne satte en midlertidig stopper for bilismens fremgang, der dog har været støt stigende siden. I dag er situationen den, at trafikarbejdet fortsat stiger samtidig med, at bymidterne ønskes fredeliggjort. Derfor søges kapaciteten på centrale strækninger i bymidterne i højere grad formindsket, hvilket er en modsætning i forhold til de krav den stigende bilisme stiller. Således søges biltrafikken begrænset ved bl.a. at reducere antallet af parkeringspladser og flytte større arbejdspladser og centerområder ud fra de centrale bydele. Denne strategi har dog vist bilismens tvetydighed, da bilismen er med til at forværre bylivet, men samtidig er det, der skaber det. Derfor frygtes det fra nogle sider, at bymidternes butiksliv uddør, hvis ovenstående tiltag gennemføres.

Ud fra det ovenstående står det klart, at der ikke på nuværende tidspunkt er nogen kompromisløs vilje til at begrænse trafikken i midtbyerne, og som en konsekvens af dette er trængsel uundgåeligt. Trængsel er dog samtidig en faktor, der vægtes højt i samfundsøkonomien, og der er fra politisk side stor fokus på emnet.

Den høje prioritering af problemet har gjort trængsel til et interessant emne for dette projekt. Herudover er der specielt i byer snævre rammer for at løse problemet, da det netop ikke ønskes at øge kapaciteten.

Bearbejdningen af emnet kan foretages på forskellige måder. Således kan de samfundsøkonomiske prissætninger vurderes, trængslen kan registreres og trængselsproblematikker kan forsøges løst. Der er imidlertid sket en udvikling, der især har givet registreringen nye

muligheder. GPS-teknologien har nået et punkt, hvor apparaterne har en præcision, der gør dem velegnede til trafikregistreringer. På denne måde åbnes der op for helt nye muligheder, da der nu kan opnås detaljerede data for det enkelte køretøj over en hel strækning i modsætning til traditionelle snitdata.

Med de nye muligheder for dataindsamling er det nødvendigt at udarbejde nye metoder til analyser af det indsamlede data. Således vil fokus i dette projekt ligge i at undersøge, hvordan GPS-data kan bearbejdes, så det udnyttes bedst muligt med henblik på at beskrive trængslen på et vejnet.

2 Problemanalyse

I dette kapitel beskrives de initierende problemstillinger kort. Således beskrives først trængslens konsekvenser, hvorefter både nyere og mere traditionelle dataindsamlingsmetoder til brug i trængselsanalyser præsenteres, herunder specielt GPS-registrering.

2.1 Trængslens konsekvenser

En høj grad af mobilitet er en velfærd, som de fleste sætter højt og de store fordele ved vejtrafikken, og biltrafikken især, er netop mobiliteten og friheden til selv at kunne vælge. Med stigningen i vejtrafikken gennem tiden følger dog også en skærpet opmærksomhed omkring de negative konsekvenser, der følger af trafikken.

Trafikmængden er i Danmark fra 1983 til 2005 steget med ca. 66 % (Vejdirektoratet 2007a). Således er trafikarbejdet for "synede køretøjer"; personbiler, taxier, busser, varebiler, lastbiler samt sættevognstrækkere steget fra godt 26 mia. køretøjskm i 1983 til godt 44 mia. køretøjskm i 2005.

Med de stigende trafikmængder Når der opstår trængsel på et vejnet nedsættes den mulige hastighed for bilisterne herpå. Derved oplever disse en forsinkelse, idet rejsetiden for den enkelte bilists tur forøges i forhold til rejsetiden for den samme tur i en situation uden trængsel.

Udover denne forsinkelse kan trængsel have en indflydelse på en række af trafikens øvrige konsekvenser, alt efter graden af trængslen. Hvis trængselsituationen er på et niveau, hvor trafikken afvikles flydende men med nedsat hastighed, vil situationen have en gavnlig virkning på forureningen, brændstofforbruget, støjbelastningen, barrierevirkningen samt alvorlighedsgraden af uheld, idet de tre førstnævnte virkninger er direkte afhængige af hastigheden, ligesom alvorlighedsgraden af uheld er proportional med hastigheden. Er trængslen modsat på at sådant niveau, at trafikken ikke længere afvikles flydende, men med mange opbremsninger og accelerationer, vil billedet nærmest være det modsatte. Således vil dette have en negativ virkning på forureningsniveauet, brændstofforbruget samt støjbelastningen, ligesom der vil kunne forventes flere uheld, dog med lav skadesgrad.

I "Projekt Trængsel" (Trafikministeriet 2004) er omkostningerne for-

bundet med trængsel opgjort til 5,7 mia. kr. alene i hovedstadsområdet, hvilket giver et billede af omfanget af de følger, der er tilknyttet den stigende grad af trængsel der opleves i de større byer i Danmark. Til sammenligning udgjorde de samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med uheld i 2003 13,6 mia. kr. i 2003 prisniveau (Vejdirektoratet 2007b).

Som det fremgår af det ovenstående, er der store omkostninger forbundet med trængsel. Derfor kan det være interessant at undersøge, hvorledes disse kan reduceres. I dette projekt er det valgt at rette fokus mod trængsel og især registreringen af trængsel i byområder, da der ikke foreligger en accepteret standard til opgørelse af dette. Samtidig åbner ny teknologi i form af GPS-udstyr op for nye muligheder for relativ simpel og økonomisk opsamling af trafikdata fra kørende biler i realtid. Det ønskes således at belyse mulighederne for udvikling af metoder til registrering og opgørelse af trængsel i byområder ved brug af GPS-udstyr i en flåde af biler, der benytter det vejnet, det ønskes at udføre trængselanalyser for.

2.2 Metoder til dataindsamling

Med ny teknologi åbnes der op for nye metoder til indsamling af data, som kan supplere eller afløse de traditionelle snittællinger og de begrænsninger, der følger af disse. I dette afsnit beskrives indledningsvist betydningen af dataindsamling, ligesom der gives et overblik over hidtidige og nyere dataindsamlingsmetoder.

2.2.1 Dataindsamlingens betydning for trafikplanlægningen

Vej- og trafikplanlægning er kendt i Danmark tilbage fra Jyske Lov i 1241, men det tog lang tid, før planlægningen fungerede efter hensigten. Trafikplanlægning er i bund og grund en reaktion på en trafiksituation og et forsøg på at styre den i en ønsket retning. Det kan være et forsøg på at regulere trafikken ved f.eks. at stramme parkeringspolitikken eller på højere plan ved at ændre olieafgifterne. På et andet niveau kan vej- og trafikplanlægning bestå i at sikre den bedst mulige afvikling af trafikken, og er således en mere direkte planlægning. Det kan f.eks. være ændring af signalplaner, udbygning/nedbygning af veje osv.

Trafikplanlægningen er som udgangspunkt styret af en offentlig vejmyndighed, i Danmark altså Staten eller kommunerne. Staten tager sig af de overordnede politiske opgaver, såsom olieafgifter og lignende, men har også ansvaret for de største veje, dvs. motorvejene samt en del af de tidligere amtsveje. Dette sker via Vejdirektoratet, mens

de øvrige veje bestyres på kommunalt plan.

Kvaliteten af trafikplanlægningen hviler på den mængde af information om trafikken, der indhentes samt de politiske ambitioner og ønsker. Jo større kendskab der er til den aktuelle og fremtidige situation, jo bedre kan der handles herefter. Således er der gennem mange år udviklet metoder til at beskrive trafikken. Disse spænder bredt fra helt simple og manuelle metoder til fuldautomatiserede og tekniske løsninger. Resultaternes kvalitet spænder også vidt fra stikprøver til tæt på 100 % dækkende, mens metoder kan omfatte hele områder eller enkelte snit. Hermed er der store variationer i datatyperne, og det er derfor vigtigt at vurdere kravene til data, når en metode skal udvælges.

2.2.2 Traditionelle metoder til dataindsamling

Traditionelt er der hovedsageligt benyttet snitdata i trafikplanlægningen, mens egentlige områdedækkende analyser kun har været benyttet i mindre grad. Herudover er andre manuelle analyser, som f.eks. parkerings- og adfærdsanalyser også benyttet.

Snitdata er et stærkt redskab til at beskrive trafikken i det enkelte snit, da alt, eller så godt som alt, trafik i tælleperioden medtages. Problemet er dog, at specielt hastigheden kan være fuldstændig anderledes bare 50 – 100 m før eller efter snittet. Derfor er det en noget usikker antagelse at lade trafikken i et enkelt snit være repræsentativ for en hel strækning.

Snitdata kan indsamles på flere måder. Disse metoder beskrives i det følgende, hvor deres styrker og svagheder ligeledes beskrives. Dette er gjort ud fra "Kompendium i vejtrafik" (Lahrmann et al. 1994), hvor andet ikke er anført.

Manuelle tællinger

Den manuelle tælling er den mest simple metode. Her udstyres en person med et notatskema og evt. et ur, hvis det ønskes at differentiere data på tidsperioder. En sådan analyse kan differentiere på køretøjstype og retning samt førømtalte tidsperioder. Herudover kan nummerpladen noteres helt eller delvist, hvorved en nummerskrivningsanalyse kan foretages. Dette beskrives senere.

Fordelene ved en manuel tælling består i metodens simplicitet og fleksibilitet. Tællerne kan placeres næsten hvor det ønskes, og de kan nemt omplaceres. Herudover kan en tæller dække flere retninger i

kryds, hvor de således kan være maskinelle tællinger overlegne.

Ulemperne ved denne analyseform er hovedsageligt, at de udføres af mennesker. Således bør der selv ved simple analyser påregnes en betydelig fejlfaktor. Denne faktor stiger i takt med analysens kompleksitet og trafikmængden på den pågældende tællers post. En anden ulempe ved manuelle tællinger er, at det ikke umiddelbart er muligt at frembringe hastighedsdata, men udelukkende antalsdata.

Ønskes hastighedsdata ved en manuel dataindsamling, kan en radar-pistol benyttes. Denne metode vil dog sjældent kunne måle samtlige køretøjer i et snit, hvorfor der vil blive tale om en stikprøveudtagning, f.eks. hver 3. eller hver 5. afhængigt af trafikmængden.

Maskinelle tællinger

Maskinelle tællinger kan foretages med forskellige slags udstyr, som grundlæggende har de samme muligheder, men benytter lidt forskellige metoder.

Induktionsspoler kan enten placeres henover vejen eller fræses ned i asfalten. Dette udstyr inducerer en elektromagnetisk impuls, når et køretøj passerer. Hermed kan hastighed og køretøjstype samt køretøjets retning registreres. Induktionsspolerne er et meget udbredt og pålideligt udstyr, dog mindskes nøjagtigheden ved køkørsel, hvor hastighederne falder til under 5 km/t.

Tælleplader registrerer den ændring i magnetfeltet, som en passerende bil forårsager. Hver plade kan dog kun dække ét kørespor af gangen. Pladerne skrues eller boltes fast i vejbelægningen, og benyttes hovedsageligt til midlertidige tællinger.

Gummislanger og koaxialkabler monteres henover vejen, og køretøjernes aksler og afstande imellem disse registreres. Disse giver samme muligheder for dataudtræk som induktionsspoler og tælleplader.

De maskinelle snittællinger kan i princippet det samme som manuelle tællinger. Dog kan de ikke give informationer om et køretøjs svingbevægelser eller rutevalg, eksempelvis i forbindelse med krydstællinger.

Øvrige indsamlingsmetoder

Ovenstående dataindsamlingsteknikker er alle baseret på snitmålinger. Der findes dog også andre metoder, som i nogen grad kan be-

skrive trafikken på en strækning eller i et område.

Nummerskrivningsanalysen giver mulighed for at bestemme trafikstrømmene inden for et afgrænset område. Der placeres en tæller ved hver indgang/udgang til området samt evt. kontrolposter inden for området. Disse noterer nummerpladen, eller en del af den, tidspunkt og evt. retning og køretøjstype på alle, der passerer snittet. På denne måde kan alle de gennemkørende køretøjer registreres, og rejsetiden kan i nogen grad bestemmes.

Der er en række fejlkilder ved denne analyseform, som gør, at der er et vist mørketal ved resultaterne. De menneskelige fejl udgør således en betragtelig andel, mens fejl som følge af den valgte metode også kan udgøre en større fejlkilde. Her er specielt antallet af noterede nummerpladecifre betydeligt, da færre cifre betyder større risiko for forvekslingsfejl.

Hastighedsmålinger under kørsel kan anvendes, hvis der ønskes detaljerede hastighedsdata for en strækning. Overordnet set kan der benyttes to metoder; "den flydende bil" og "den jagende bil".

"Den flydende bil" er en bil, der følger trafikstrømmen på en strækning, således den overhaler ligeså mange, som den selv bliver overhalet af. På denne måde søges det gennemsnitlige hastighedsniveau afdækket.

"Den jagende bil" er en bil, der udvælger en tilfældig bilist, som følges. Dennes køremønster gentages og registreres vha. udstyr i den jagende bil. Således kan hastighedsniveauet over hele strækningen afdækkes.

Ved de to ovenfor beskrevne metoder er der dog en etisk problemstilling, da det ikke er forsvarligt at overskride hastighedsgrænserne, hvorved metoderne kan være umulige at følge i visse situationer.

Et område eller en strækning kan videoptages fra et højt punkt, hvorved der kan opnås præcise oplysninger om trafikken. Ligesom de ovenstående analyseformer er der tale om en ressourcekrævende analyseform, hvorfor større analyser kun sjældent er mulige.

Trafikmodeller er en metode til at estimere trafikmængder på et vejnet. Med denne deles en by op i zoner, som ud fra bebyggelsestyper osv. vurderes at generere en mængde trafik i forhold til de øvrige

zoner. På denne måde gives der et estimat på trafikmængderne på vejene, som efterfølgende kan kalibreres med spoletællinger og lignende. På denne måde kan effekten af ændringer på vejnettet og i zonerne vurderes, hvilket kan være relevant i forbindelse med forebyggelse af trængsel.

2.2.3 Nyere/fremtidige metoder til dataindsamling

Snittællingerne og –målingerne er med de traditionelle metoder på et niveau, hvor der kan indsamles data af høj kvalitet. Derimod kan data fra en hel strækning eller et netværk kun i ringe grad opnås, hvorfor nye teknikker er under afprøvning i forskellige projekter. Disse beskrives i det følgende.

Tags

Et tag er en lille radiosender, som er placeret i et eller flere køretøjer. Når køretøjet nærmer sig en opsat modtagerstation, registreres køretøjets ID. På denne måde kan køremønstre registreres, mens hastighedsdata ikke umiddelbart kan indhentes. Teknikken anvendes bl.a. i brobizz (Larsen et al. 2004), men er generelt ved at være forældet til indsamling af trafikdata.

Rampedosering

For at opretholde en højere rejsehastighed i spidstimerne er der foretaget et forsøg med rampedosering på Helsingørmotorvejen (Larsen et al. 2004) Med rampedosering kan trængslen på en motorvejen holdes på et ønsket niveau, mens køerne i stedet opstår ved tilfarterne. På Helsingørmotorvejen var erfaringen, at ved at påføre nogle enkelte trafikanter en forsinkelse opnåedes en betydelig gevinst på rejsetiden for de øvrige trafikanter på motorvejen.

GSM og GPS

GSM og GPS giver nogenlunde samme muligheder, hvor GSM udnytter mobilnetværket til at lokalisere en GSM-telefon, og dermed et køretøj. Det kan registreres, hvornår et køretøj ankommer til eller forlader et område, som dog kan have et areal på 1000 km², hvorfor præcisionen er begrænset. Tales der i mobiltelefonen er det muligt at opnå mere præcise informationer. Hvad GSM-løsningerne indtil videre mangler i præcision, kompenseres der for i udbredelsen. I forhold til antallet af GPS-apparater er der langt flere mobiltelefoner og dermed potentielle muligheder for indsamling af data. (Holstrøm 2006)

GPS-teknologien bliver mere og mere udbredt i forbindelse med navigationsanlæg og sporingsanlæg, som f.eks. kan benyttes i tilfælde

af tyveri. Vejmyndighederne er også begyndt at benytte teknologien bl.a. i forbindelse med opmåling og vintervedligehold.

Et GPS-apparat logger én gang i sekundet. Her registreres position og tidspunkt, ligesom bl.a. hastighed og retning også kan udtrækkes, dog med mindre nøjagtighed. Hvis disse informationer lagres med en vis frekvens, kan en tur i et køretøj beskrives. En ønskelig frekvens kunne være en logning for hvert sekund, hvilket vil give et yderst dækkende billede af en køretur, hvorved f.eks. et hastighedsprofil kan optegnes over ruten. Dette gør GPS til et stærkt værktøj til at beskrive trafikens afvikling.

En svaghederne ved GPS består i, at der skal installeres et apparat i hvert køretøj for at opnå et fuldt dækkende billede af trafikken. Derfor udvælges som regel en gruppe, der repræsenterer den samlede trafik. Herudover er pålideligheden af data en ulempe ved brug af GPS. GPS-apparaterne er afhængige af kontakt til satellitterne, hvorfor tunneler, høje bygninger og selv træer kan betyde ingen eller forringet data. Derfor er det indtil videre svært at få pålidelige data fra tætte byområder, da større afvigelser i de loggede positioner kan opleves. Derfor kan det være nødvendigt med en fortolkning af data, hvor data tilknyttes vejnettet, inden det kan bruges i analyser. En anden ulempe er omkostningerne til overførsel af data, hvis det ønskes at indhente realtidsinformationer. Således kan f.eks. GSM-nettet benyttes til at sende data til en server, der kan behandle dette og give et kontinuerligt billede af trafikken.

2.2.4 Delkonklusion

Med de traditionelle analyseformer er der mange muligheder for at indsamle data i et snit, hvorfor denne datatype også som udgangspunkt anvendes i forskellige trafiktekniske beregningsmodeller. Det har dog begrænsninger, da hastighedsniveauet sjældent er det samme over en hel strækning. Herudover kræver de stationære tællinger meget udstyr, da hvert apparat kun kan måle på ét sted ad gangen.

Udover ovenstående problemstillinger vil analyseformer, der kan dække hele strækninger eller områder, give mulighed for langt mere præcise analyser, og dermed bedre trafikplanlægning. Derfor er nye teknikker udviklet i løbet af de seneste år i forbindelse med IT-teknologiens fremskridt, men de er endnu ikke, eller kun i ringe grad, implementeret i vejmyndighedernes dataindsamlingsmetoder.

Det fremgår af ovenstående, at GPS er et værktøj med mange og nye

muligheder, men det indeholder samtidig også en række problemområder, som skal løses, inden en fuldstændig implementering kan foretages.

En kombination af snitmålingernes høje nøjagtighed og dækningsgrad af trafikken i snittet bør således kunne kombineres med GPS-teknologiens høje dækningsgrad af vejnettet, hvorved GPS-data kan kontrolleres i forhold til snittællinger, og dermed valideres.

På længere sigt vil GPS-apparaterne blive mere nøjagtige og samtidig være standardudstyr i alle køretøjer. Således ligger udfordringen i at overvinde frygten for overvågning, som indtil nu er en stor barriere for f.eks. GPS-baseret roadpricing. Lykkes dette, vil det kun være et spørgsmål om tid inden alle køretøjer bidrager med trafikinformationer, og det traditionelle udstyr vil ikke længere være nødvendigt.

3 Litteraturstudier

Der foreligger mange forskellige definitioner på trængsel, hvorfor det kan være svært at identificere en almenyldig definition. Litteraturens definitioner omhandler enten selve indskrænkningen af den enkelte trafikants bevægelsesfrihed, årsagerne hertil eller effekterne heraf. Senere i dette kapitel beskrives forskellige anvendte definitioner nærmere med henblik på at fastlægge en definition til brug i dette projekt, ligesom der beskrives forskellige projekter, der beskæftiger sig med trængselanalyser ved brug af GPS-data. Først beskrives dog kort en række relevante parametre i forbindelse med trængselopgørelse.

3.1 Trængselsparametre

Det kan både være interessant at indsamle oplysninger om graden af trængslen, altså i hvor høj grad den enkelte trafikants bevægelsesfrihed er indskrænket, varigheden af trængslen på de enkelte elementer af et vejnet, udstrækningen af trængslen, eksempelvis kølængder, samt variationen af trængslen over dagen, ugen, året eller andre relevante perioder. I det følgende beskrives parametre, der primært kan benyttes til opgørelse af trængselsgraden.

Rejsetid/Rejsehastighed

Rejsetiden angiver tidsforbruget ved gennemkørsel af en given strækning eller rute, mens rejsehastigheden beskriver forholdet mellem den rejste distance og rejsetiden.

Free-flow

Free-flow-rejsetiden er udtryk for rejsetiden i en situation uden trængsel, altså hvor den enkelte bilists valg af hastighed og kørselsmønster ikke er under indflydelse af andre bilister, men kun bestemt af vejens geometri samt bilistens køremåde. Jævnfør ovenstående afsnit kan free-flow-situationen også beskrives ved en rejsehastighed.

Forsinkelse

Forsinkelsen er udtryk for det ekstra tidsforbrug, der er forbundet med afviklingen af en given tur, i forhold til en situation uden trængsel. Forsinkelsen er således givet som forskellen mellem rejsetiden og free-flow-rejsetiden.

$$t_f = t_a - t_{ff}$$

Hvor:

t_f = forsinkelsen

t_a = den aktuelle rejsetid

t_{ff} = free-flow-rejsetiden

Flowrate

Flowraten er givet som den aktuelle hastighed i forhold til hastigheden i en free-flow-situation.

$$Flowrate = \frac{v_a}{v_{ff}}$$

Hvor:

v_a = den aktuelle rejsehastighed

v_{ff} = free-flow-rejsehastighed

Trængselsgrad

Trængselsgraden angiver hastighedsnedsættelsen i forhold til free-flow-hastigheden, og udtrykker dermed den reciproke værdi af flowraten.

$$Trængselsgrad = \frac{v_{ff} - v_a}{v_{ff}}$$

Hvor:

v_a = den aktuelle rejsehastighed

v_{ff} = free-flow-rejsehastighed

Trafikintensitet

Trafikintensiteten angiver antallet af køretøjer, der passerer et tværsnit over et tidsrum.

$$I = \frac{N}{t}$$

Hvor:

I = trafikintensiteten

N = antallet af køretøjer

t = tidsperioden

Kapacitet

Både for vejstrækninger og vejkryds udtrykker kapaciteten af det givne element den maksimale trafikintensitet, det er muligt at opnå.

Kapaciteten af en strækning angiver entydigt det maksimale antal køretøjer, der over et givent tidsrum kan passere et tværsnit på den pågældende strækning i begge retninger. Kapaciteten for en fri strækning bestemmes jf. Vejreglerne (Vejdirektoratet 2005) ud fra følgende formel, bestående af idealkapaciteten samt en række reducerende faktorer for de forhold, der afviger fra de ideelle.

$$N = N_{\text{ideel}} \cdot b \cdot s \cdot r \cdot c$$

Hvor:

N = kapaciteten for den aktuelle strækning

N_{ideel} = vejtypens idealkapacitet

b = korrektionsfaktor for køresporsbredde og begrænsning i fri sidebredde i vejside og midterrabat

s = korrektionsfaktor for andelen af store køretøjer og betydningen af stigninger for store køretøjers belastning af vejen

r = korrektionsfaktor for modkørende trafik og manglende overhalingmulighed på 2-sporede veje

c = korrektionsfaktor for indflydelsen på 2-sporede veje af langsomme køretøjer på strækningen (f.eks. landbrugsmaskiner, entreprenørmaskiner)

Modsat kapaciteten af en strækning er kapaciteten af et kryds ikke entydig, idet denne afhænger af bl.a. vigepligtsforhold, regulering og variation i svingbevægelser. Kapaciteten af et vejkryds udgør den samlede kapacitet af alle krydsets tilfarter.

Belastningsgrad

Belastningsgraden angiver i hvor høj grad det pågældende vejelements kapacitet er udnyttet, altså forholdet mellem den aktuelle og den maksimale trafikintensitet.

3.2 Trængselsdefinitioner

Det er i mange forskellige studier søgt at definere trængsel, hvorfor der forefindes mange forskellige definitioner. Et udvalg af disse præsenteres og diskuteres i det følgende, hvorefter en definition til brug i dette projekt bestemmes.

Traffic Congestion In Europe

I 1998 afholdtes blandt europæiske transportministre en fælleseuropæisk konference i Paris bl.a. med det formål at fastlægge en definition på trængsel. Resultaterne af konferencen er opsummeret i rapporten "Traffic Congestion In Europe" (Economic Research Centre

1999), hvor bl. a. følgende definitioner nævnes som gængse definitioner i det franske bidrag til konferencen:

- *"Congestion occurs close to the road's capacity limit."*
- *"Congestion occurs when speed falls below this level."*
(En forudbestemt referencehastighed)

Den første af de to definitioner udtrykker, at trængsel forekommer når trafikintensiteten nærmer sig vejens kapacitet, og definitionen læner sig altså op ad årsagen til, at trængslen opstår. Modsat udtrykker den sidste definition, at trængsel forekommer når hastigheden bliver lavere end en forudbestemt referencehastighed, og læner sig således op ad følgerne af trængslen.

I henholdsvis det engelske og det tyske bidrag til konferencen defineres trængsel som følger:

- *"Congestion is the impedance vehicles impose on each other, due to the speed-flow relationship, in conditions where use of a transport system approaches its capacity."*
- *"Congestion can be defined as a situation in which transport participants cannot move in a usual or desirable manner."*

Disse definitioner fokuserer hverken på årsager til eller følger af trængslen. Den engelske definition beskriver trængsel som en modstand i en trafikstrøm, der hæmmer den enkelte bilists bevægelsesfrihed i form af andre trafikanters tilstedeværelse. Definitionen betinger dog at den trafikale situation i det pågældende transportsystem skal være nær systemets kapacitetsgrænse. Denne betingelse er ikke indeholdt i den tyske definition, der blot udtrykker at trafikanter i en trængselssituation ikke kan bevæge sig, som de ville have gjort i en situation uden trængsel. Det blev på konferencen besluttet at arbejde videre ud fra den engelske definition.

Projekt Trængsel

I "Projekt Trængsel" (Trafikministeriet 2004) er der ligeledes udført et omfattende litteraturstudie i forsøget på at finde en almenyldig definition på trængsel. Udover bidragene fra førnævnte konference fremhæves definitioner fra det amerikanske studie "Quantifying Congestion", hvor henholdsvis trængsel og uacceptabel trængsel defineres som følger:

- *"Congestion is travel time or delay in excess of that normally incurred under light or free-flow conditions."*
- *"Unacceptable congestion is travel time or delay in excess of an agreed-upon norm. The agreed-upon norm may vary by type of transportation facility, travel mode, geographic location, and time of day."*

I dette studie er det tilstræbt at definere begrebet ud fra, hvordan trafikanterne oplever trængsel, hvorfor der er fokuseret på følgerne af trængslen. I Projekt Trængsel vælges det, at arbejde videre med en definition baseret på trafikanternes påvirkning af hinanden i trafiksystemet og meget lig den tyske definition:

- *"Trængsel er et udtryk for de gener, som trafikanterne påfører hinanden i form af nedsat bevægelsesfrihed, når de færdes i trafiksystemet."*

Valg af definition

Det er i dette projekt valgt at arbejde videre ud fra definitionen fra Projekt Trængsel, da denne beskriver begrebet direkte og ikke ud fra årsager og effekter:

- *"Trængsel er et udtryk for de gener, som trafikanterne påfører hinanden i form af nedsat bevægelsesfrihed, når de færdes i trafiksystemet."*

Den valgte definition betinger ikke nogen bestemt trafikbelastning, og således vil der i praksis pr. definition stort set altid være en vis grad af trængsel. Dette er vigtigt at holde sig for øje, i det tilfælde det ønskes at kvantificere trængsel med henblik på opgørelse i monetære enheder. Således er det næppe ønskeligt eller rimeligt, at regne alt der afviger fra "idealsituationen" som uacceptabelt for samfundet, idet et netværk, hvor alle trafikanter til enhver tid frit ville kunne vælge hastighed, ville være kraftigt overdimensioneret og langt fra økonomisk forsvarligt. I et sådant tilfælde kan det være ønskeligt at definere en grænse for, hvornår graden af trængsel er uacceptabel, f.eks. når trafikbelastningen overskrider den økonomisk optimale trafikintensitet.

3.3 Projekter med Floating Car Data (FCD)

I dette afsnit beskrives et udvalg af forskellige projekter, der både nationalt og internationalt er udført med dataindsamling ved brug af Floating Car Data, altså data indsamlet fra en flåde af biler. De beskrevne projekter skal således ikke ses som en udtømmende beskri-

velse af de projekter, der er udført. Dels er der udført mange forskellige projekter, dels kan informationer om nogle projekter være svært tilgængelige grundet de enkelte projekters forretningsmodeller og det kommercielle potentiale inden for dette område. Hovedfokus er tillige rettet mod de projekter, der har til formål på den ene eller anden måde at opgøre trængsel.

OPTIS

OPTIS er en del af det såkaldte "Green Car"-projekt, et samarbejde mellem den svenske regering og en række bilfabrikanter. Projektet ligger ligeledes under det euro-regionale EU-udviklingsprogram VI-KING. Afsnittet er, hvor andet ikke er angivet, baseret på Tempo-evalueringsrapporten "OPTIS - Optimised traffic in Sweden" (Lind 2006).

OPTIS står for "OPTimised Traffic In Sweden" og blev gennemført over to faser mellem april 2000 og sommeren 2002, hvor den første fase var en udviklingsfase, mens den anden fase fokuserede på afprøvning af teknikken i Göteborg.

Formålet med OPTIS-projektet er at forbedre effektiviteten af trafikafviklingen ved at skabe et solidt og omkostningseffektivt dataindsamlingsværktøj, således den tilgængelige trafikinformation kan forbedres både kvantitativt og kvalitativt. I afprøvningsfasen har en flåde på 250 biler indsamlet Floating Car Data (FCD) over en periode på 6 måneder i Göteborg. Data er indsamlet med en indsamlingsfrekvens på 90 sekunder (Holstrøm 2006) og ud fra disse data er rejsetider mellem vejnettets forskellige links beregnet til brug for et trafikinformationssystem. Dataindsamlingen er foretaget i realtid ved brug af trådløs GSM-kommunikationsteknologi.

Projektet konkluderer, at der kan indsamles rejsetidsinformation af god kvalitet med OPTIS-konceptet. Forsøgene viser også, at ved hændelser, der øger rejsetiden med 30 min, kan alternative ruter reducere denne forsinkelse med op til 25 min. Slutteligt konkluderes det, på baggrund af de udførte indsamlinger samt datasimuleringer, at der med Floating Car Data fra 0,5 % af bilparken kan estimeres rejsetider med en rimelig nøjagtighed for hovedvejnettet i Göteborg.

DLR

DLR er Tysklands nationale luft- og rumfartscenter (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt). Organisationen opstod i 1999 et institut for transportforskning, hvorunder en lang række ITS-projekter har været afviklet, heriblandt FCD-projekter. Afsnittet er, hvor andet

ikke er angivet, baseret på hjemmesiden for DLR's trafikforskningsinstitut (DLR 2007) samt to præsentationer fra internationale konferencer (Schäfer 2005, 2006).

DLR's FCD-projekter har primært fokuseret på indsamling af data ved brug af taxi-flåder, hvor køretøjerne allerede har haft GPS-baserede flådestyringsanlæg installeret. Derved kan projekterne kobles op på eksisterende systemer, der overfører data trådløst i realtid. DLR indsamler i Tyskland data fra 1.500 taxier i Hamburg, 1.200 i Frankfurt, 700 i Stuttgart, 500 i Nuremberg, 300 i Berlin samt 220 i München, mens der indsamles data fra 600 taxier i Wien i Østrig og 2.000 taxier i Ningbo i Kina. De 300 taxier i Berlin fungerede som pilotprojekt for DLR ved dette projekts opstart i april 2001.

Den synergieffekt, der er mellem sådanne projekter og firmaer, der allerede benytter flådestyringsanlæg, betyder, at omkostningerne til udstyr og kommunikation er yderst begrænsede, hvorved den største opstartsbarriere er overvundet. Data indsamles i de forskellige projekter med frekvenser mellem 20-120 sekunder afhængigt af de eksisterende systemer, taxiselskaberne benytter (Holstrøm 2006). Formålet med dataindsamlingen er trafikmonitorering, prognosticering af rejsesetider samt information om rejsesetider. Disse informationer visualiseres gennem GIS-kort, der gøres tilgængelige for brugerne i de forskellige områder gennem internettet.

ITIS

ITIS, som står for Integrated Transport Information Services, er et britisk baseret selskab, der siden februar 2000 har samlet trafikinformationer i Storbritannien vha. GPS. Disse informationer indsamles vha. bilflåder, som f.eks. AA Patrol og National Express, hvorefter data i mere eller mindre behandlet form sælges videre til f.eks. de britiske vejmyndigheder. Afsnittet er, hvor andet ikke er angivet, baseret på ITIS' hjemmeside (ITIS 2007).

ITIS definerer deres koncept som Floating Vehicle Data (FVD), hvor den generelle betegnelse er Floating Car Data (FCD). Fokus i ITIS' arbejde ligger i at drive en forretning frem for at foretage decideret forskning, hvorfor efterspørgslen betyder meget i forhold til hvor og hvornår, der søges den største dækningsgrad på vejnettet.

ITIS råder over en flåde på ca. 100.000 køretøjer, som de omregner til FVD Units. Således udgør en almindelig personbil 1 FVD Unit, en forretningsrejsendes bil udgør 3 FVD Units, mens busser og lastbiler

udgør 30 FVD Units. Denne omregning benyttes for at indregne de forskellige køretøjers forskellige trafikarbejde, da en almindelig familiebil oftest kører færre kilometer om året end f.eks. en lastbil. Herudover bevæger lastbilerne sig i højere grad på det overordnede vejnet, som er det primære mål for ITIS' indsamlingsarbejde.

ITIS leverer hovedsageligt historiske data, mens der i nogen grad også leveres realtidsinformationer. I tilfælde af det sidste sender køretøjerne kun realtidsinformationer, når de bevæger sig på strækninger, hvor dette ønskes.

Positionerne og tilhørende hastighedsdata gemmes normalt for hver 60 sekunder, men dette interval kan dog variere både op og ned. Dette er valgt på baggrund af en afvejning af de øgede omkostninger ved større datamængder og den mindske præcision ved mindre datamængder, hvorved et interval på 60 sekunder er fundet optimalt.

Transport For London (TFL) har igennem flere år benyttet sig af ITIS-data, og i 2005 fik de udarbejdet en rapport (RNPR 2005) af Road Network Performance & Research Team, som hører under Directorate of Road Network Performance. Denne rapport skulle vurdere mulighederne i ITIS' trafikdata til analyser på Londons vejnet.

Det indsamlede data fra oktober 2003 var af en størrelsesorden, der svarede til 75.000 logninger pr. time mellem kl. 7.00 og 19.00 fordelt på 5.600 km vej i London. I den mindst dækkede time fra 3.00 til 3.59 udgjorde datamængden 10.000 logninger. Siden da har flåden været konstant stigende, hvilket betyder, at der i dag er endnu bedre dækning på vejnettet. Timetallene er summeret for alle månedens dage, således der f.eks. sammenlagt har været 10.000 logninger for samtlige timer fra 3.00 til 3.59 for hele oktober. I 2005 blev der månedligt indsamlet 4 mio. logninger.

Som validering er gennemsnitshastighederne på Londons vejnet, beregnet ud fra ITIS-data, sammenlignet med hastigheder fra traditionelle "flydende bil"-registreringer. Her fremgår det, at der generelt er en god sammenhæng på strækningerne inden for alle tidsperioder. Dog viser ITIS-data en rejsehastighed, der generelt er lidt højere end registreringerne med flydende bil viser.

I ovennævnte rapport regnes en strækning som dækket, når der er foretaget én eller flere logninger på denne inden for de forskellige

perioder, f.eks. tirsdag aftener over en periode på fire måneder. Således er der udarbejdet en tabel, der viser i hvor stor udstrækning forskellige grupper af strækninger er dækket, fordelt i forskellige tidsrum (RNPR 2005).

De tilgængelige data bliver udleveret i 15 minutters intervaller, og de dækker den del af vejnettet, som ITIS har defineret som værende relevant. Dataudtrækkene kan foretages for en enkelt eller flere strækninger, ligesom der kan defineres et specifikt område.

Ved trængselsopgørelser benyttes begreberne "measure of delay" eller "flow rate" som indikatorer. Flow rate udregnes som rejsehastigheden for et givent tidsinterval i forhold til en free-flow-rejsehastighed, der bestemmes som den gennemsnitlige rejsehastighed mellem 22.00 og 6.00. Det erkendes, at dette ikke giver den hurtigste rejsehastighed, men til gengæld repræsenterer værdien en mere passende datamængde. Hvis der ikke er data for free-flow-perioden, benyttes hastighedsgrænsen. Værdierne omregnes til minutter pr. kilometer, hvorefter measure of delay kan udregnes som det spildte antal minutter pr. kilometer ved sammenligning med tidsforbruget i free-flow-situationen.

Projekt Trængsel/AKTA

Projekt Trængsel er et dansk projekt, der blev gennemført som et samarbejde mellem Københavns Kommune, Hovedstadens Udviklingsråd, Økonomisk Institut - Københavns Universitet, Vejdirektoratet, Center for Trafik og Transportforskning - DTU samt COWI A/S, der har stået for ledelsen af projektet, som har modtaget støtte fra Trafikministeriet og Transportrådet. Afsnittet er baseret på afrapporteringen af projektet, "Projekt Trængsel - Hovedrapport" (Trafikministeriet 2004).

Projektet blev startet op i 2000 og afrapporteret i 2004. Hovedformålene med projektet har været at formulere en alment gyldig definition på trængselsbegrebet, at identificere egnede parametre til opgørelse af trængslens omfang samt at opgøre det samlede omfang af trængslen i hovedstadsområdet.

Til brug for opregning af trængslen i hele hovedstadsområdet er benyttet FCD, som er indsamlet i forbindelse med AKTA-projektet, der havde til formål at undersøge metoder til begrænsning af trafikken ved forskellige former for vejafgifter. Denne dataindsamling fandt sted over 16 uger i perioden 2001-2002, hvor en flåde på ca. 400 køre-

tøjer har foretaget GPS-registreringer med en frekvens på 1 sekund. Disse blev dog ikke transmitteret i realtid, men aflæst ved projektets afslutning, da formålet var analyse af historiske data og ikke trafikprognostisering eller trafikinformation.

Baseret på litteraturstudier omtalt tidligere i dette kapitel er følgende definition af trængsel benyttet i Projekt Trængsel: *”Trængsel er et udtryk for de gener, som trafikanterne påfører hinanden i form af nedsat bevægelsesfrihed, når de færdes i trafiksystemet.”*

På baggrund af en afprøvning på henholdsvis en motorvej, en indfaldsvej og en bygade er der udvalgt parametre til opgørelse af trængslen for både bil- og busstrafik. Trængslen opgøres i projektet for biltrafikkens vedkommende ved brug af parametrene trængselsniveau, samlet forsinkelse, vejtrængsel og biltrængsel. Den primære parameter er, sammen med forsinkelsen, trængselsniveauet, der er delt op i fire forskellige grader, defineret ud fra aktuell hastighed i forhold til free-flow-hastigheden (svarende til flow rate) samt øget tæthed i forhold til den maksimale tæthed på strækningen. Grundet tætheden af kryds i byområder og deraf trafikens afviklingsmønster i ”klynger” benyttes parameteren tæthed ikke på bygader. Af figur 3.1 kan det ses, hvordan de forskellige trængselsniveauer er defineret.

Figur 3.1: Definition af trængselsniveauer jf. Projekt Trængsel (Trafikministeriet 2004).

	Tæthed	Rejsehastighed	LoS
Ubetydelig trængsel	$t \leq 0,2 \times t_{\max}$	$v_{\text{rejs}} \geq 0,8 \times h$	A-B
Begyndende trængsel	$0,2 \times t_{\max} < t < 0,33 \times t_{\max}$	$v_{\text{rejs}} \geq 0,8 \times h$	
Stor trængsel	$0,33 \times t_{\max} \leq t < 0,6 \times t_{\max}$	$0,4 \times h < v_{\text{rejs}} < 0,8 \times h$	C-D
Kritisk trængsel	$t \geq 0,6 \times t_{\max}$	$v_{\text{rejs}} \leq 0,4 \times h$	E-F

Den samlede forsinkelse opgøres i kr. eller timer, mens vejtrængsel og biltrængsel opgøres i henholdsvis km og vognkm fordelt på de forskellige trængselsniveauer. Den i Projekt Trængsel benyttede free-flow-hastighed er fundet som gennemsnitshastigheden uden for myldretiderne, dog maksimalt hastighedsbegrænsningen, på den pågældende strækning. Trængselsopgørelsen er i projektet gjort retningsopdelt, således eksempelvis et trængselsproblem ind mod centrum ikke udjævnes grundet en ulige retningfordeling i strækningens trafik.

Samlet er trængslen i hovedstadsområdet opgjort til at udgøre 5,7 mia. kr. årligt. Herunder er medregnet de afledte effekter, der følger af trængsel, såsom ændrede rutevalg eller transportmidler samt helt udeladte ture.

REMOTE

REMOTE står for REdskaber til MOnitorering af TrafikkEn, og er et samarbejde mellem primært Trafikforskningsgruppen og Institut for Datalogi, Aalborg Universitet samt firmaerne M-Tech og Euman. Herudover har Laboratoriet for Geoinformatik, Aalborg Universitet samt Institut for Psykologi, Københavns Universitet deltaget i projektet, hvis forprojekt blev støttet af EU-programmet VIKING, mens der ikke kunne findes midler til hovedprojektet, der således ikke kunne realiseres. Afsnittet er baseret på et paper fra Trafikdage på Aalborg Universitet 2004 (Lahrmann et al. 2004).

Det overordnede formål med projektet var at afklare, hvorvidt traditionelt trafikregistreringsudstyr til realtidsinformation kan erstattes eller suppleres med Floating Car Data, resulterende i lavere drifts- og vedligeholdelsesomkostninger samt bedre data. REMOTE's forprojekt havde til formål at udvikle, afprøve og dokumentere teknologier til monitorering af et vejnet ved brug af GPS-udstyr installeret i 10 taxier, der primært kører på vejnettet i Aalborg, mens hovedprojektet havde til formål at afprøve teknologierne over en længerevarende periode med en flåde på 150-200 køretøjer. Forprojektet fandt sted i perioden fra efteråret 2003 til foråret 2004.

Der logges i projektet til en central server med en frekvens på 5 sekunder. De modtagne datasæt benyttes i en kødetekteringsalgoritme, hvis logningerne har fundet sted på én af en række prædefinerede målestrækninger, hvor der er vurderet at være overvejende sandsynlighed for, at nedsat hastighed skyldes kødannelse og ikke f.eks. trafiksignaler. Algoritmen indeholder de seneste fem meldinger fra den pågældende strækning inklusiv manuelle kømeldinger og -afmeldinger fra chaufførerne. De fem meldinger vægtes efter en række parametre, herunder bl.a. hastighedsniveauet i forhold til det forventede samt troværdigheden af meldingen. Eksempelvis kan det vælges at tillægge en manuel kømelding eller -afmelding ekstra stor troværdighed.

Det konkluderes i projektet, at chaufførerne er positive overfor tiltag som dette samt at den manuelle kødetektering har fungeret efter hensigten, men kræver mere uddannelse af chaufførerne for at højne kvaliteten. Den automatiske kødetekteringsalgoritme nåede ikke at blive implementeret i forprojektet. Forsøgene har tillige vist, at det er muligt for denne prototype med en specielt kompakt protokol at begrænse driftsomkostningerne for trådløs dataoverførsel via GPRS til 20 kr. om måneden pr. køretøj ved en logningsfrekvens på 5 sekunder.

Spar På Farten

Dette projekt blev startet op som et samarbejde mellem Aalborg Universitet, Nordjyllands Amt og Topdanmark med tilskud fra Færdselsstyrelsen. Afsnittet er baseret på Spar På Farten-projektets hjemmeside (Aalborg Universitet et al. 2006). Spar På Farten-projektet fokuserer ikke på registrering af trængsel, men på hastighedsovertrædelser. Projektet er medtaget i denne beskrivelse, da dataindsamlingsmetoden er yderst relevant, ligesom GPS-registreringerne udgør datagrundlaget for analysearbejdet i denne rapport.

Spar På Farten-projektet følger op på testforsøget INFATI, der i perioden 1998-2001 har registreret generelle hastighedsnedsættelser på 5-6 km/t gennem det rent informative forsøg. INFATI-forsøget søgte at repræsentere et bredt udsnit af befolkningen i Aalborg Kommune gennem en testgruppe på 24 købere, mens Spar På Farten-projektet har til formål at afprøve, om de positive erfaringer kan overføres på en forsøgsgruppe på 300 testkørere fra det forhenværende Nordjyllands Amt. Forsøget ventes at forløbe over en periode på 3 år, der blev påbegyndt i foråret 2006. I Spar På Farten-projektet gives deltagerne et økonomisk incitament til at overholde de gældende hastighedsgrænser, idet der kan opnås en besparelse i forsikringspræmie på op til 30 %, bestemt alt efter hvor meget hastighedsgrænserne overskrides. Projektet var indledningsvist fokuseret på unge bilister mellem 18 og 27 år, men grundet utilstrækkelig tilmelding blev deltagelse gjort mulig for alle bilister.

I Spar På Farten-projektet registreres køretøjets hastighed og position ved brug af GPS-udstyr hvert sekund, hvorefter den aktuelle hastighed sammenholdes med et vejkort indeholdende alle de gældende hastighedsgrænser i det forhenværende Nordjyllands Amt. Overskrides hastighedsgrænsen med mere end 5 km/t, vil føreren blive givet to advarsler, hvorefter der tildeles "strafpoint" efter et system, der reducerer besparelsen i forsikringspræmien. Logningerne transmitteres ved brug af GSM-teknologi til en server hver nat, ligesom samme teknologi benyttes til at opdatere hastighedskortet i tilfælde af ændringer.

Delkonklusion

Både størrelsen på flåden samt frekvensen af logningerne er en afvejning mellem datakvalitet og omkostninger. Således er der ikke noget endegyldigt resultat for en optimal kombination, idet dette vil afhænge af formål og behov i den enkelte situation.

Af tabel 3.1 ses en oversigt over de flådestørrelser og logningsfrekvenser, der er benyttet i de omtalte projekter.

Projekt	Flådestørrelse	Logningsfrekvens
OPTIS	250 køretøjer	90 sekunder
DLR	220-2.000 køretøjer	20-120 sekunder
ITIS	100.000 køretøjer	60 sekunder
Projekt Trængsel/AKTA	400 køretøjer	1 sekund
REMOTE	10 køretøjer	5 sekunder
Spar På Farten	300 køretøjer	1 sekund

Tabel 3.1: Oversigt over flådestørrelser og logningsfrekvenser i de omtalte projekter.

Det kan ses af tabellen, at de store flådestørrelser primært optræder ved de projekter, der anvender FCD til realtidsinformation, som f.eks. DLR-projekterne samt til dels ITIS. Anvendes data til historiske formål, som eksempelvis er tilfældet i Projekt Trængsel, er en ligeså stor flåde ikke nødvendig, da den nødvendige dækningsgrad kan opnås over en længere periode, f.eks. alle hverdagsmorgenspidstimer i en måned. Således er behovet for aktualitet i høj grad en bestemmende faktor for flådestørrelsen.

Tilsvarende er behovet for detaljeringsgrad i høj grad en bestemmende faktor for valg af logningsfrekvens. Således kan en høj logningsfrekvens give tilfredsstillende data, hvis der analyseres på overordnede vejnet, som eksempelvis er tilfældet ved ITIS og DLR, hvor logningsfrekvenserne kan være op til 120 sekunder. Ved detaljerede trængselsanalyser i byområder bør logningerne foretages med en højere frekvens, hvilket også ses af f.eks. Projekt Trængsel, der opererer med en logningsfrekvens på 1 sekund. En forholdsvis høj logningsfrekvens er tillige nødvendigt, hvis det ønskes at opgøre data på turbasis.

4 Problemformulering

I dette kapitel præsenteres projektets problemformulering gennem en kort opsummering af de grundlæggende problemstillinger i forbindelse med trængsel og GPS-registrering. Herefter beskrives projektets overordnede afgrænsninger, mens de mere specifikke afgrænsninger beskrives i metodeafsnittet eller under de enkelte analyser.

4.1 Problemformulering

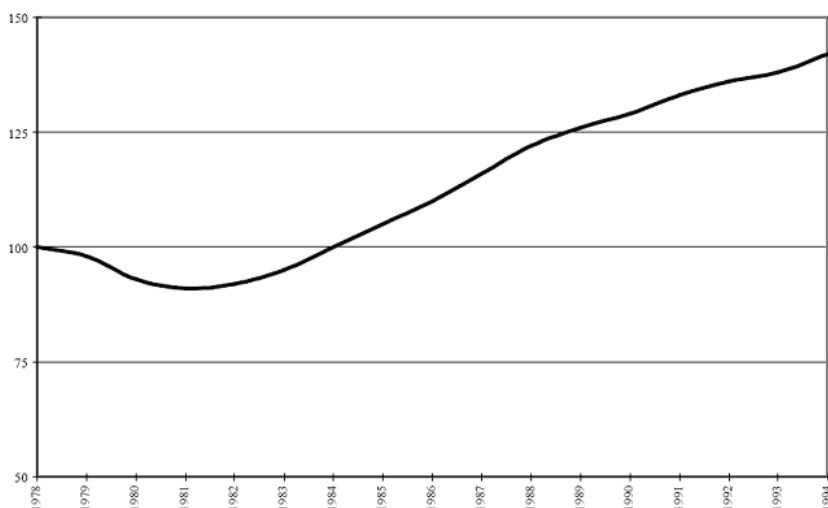
Trængsel har været et trafikalt problem i lang tid. De første metoder til løsning af trængselsproblemerne var at udvide vejnettets kapacitet, bl.a. gennem gadegennembrud og etablering af omfartsveje, men disse tiltag fungerede ikke altid efter hensigten. Senere, i starten af 1960'erne, blev planlægningen af vejnettet intensiveret, og det var bl.a. i denne periode, at udformningen af det nu færdigtbyggede motorvejssystem blev vedtaget (Thagesen 2000).

Med Vejtilskudsloven af 1958 kom der faste regler for hvor stor en andel af de forskellige vejbygningsprojekter, staten skulle finansiere. Herunder var etableringen af motorveje samt hovedlandeveje udelukkende statsfinansieret. Kombinationen af de økonomiske muligheder og det stadigt stigende trafikarbejde udgjorde et kraftigt belæg for at bygge flere og større veje, som løsning på trængselsproblemerne (Vejdirektoratet 2007c).

I 1972 blev Vejtilskudsloven ophævet, og med den første oliekrise i 1973 begyndte trafikarbejdet at falde. Hermed opstod tilsyneladende en uventet løsning på trængselsproblemerne. Med den anden oliekrise i 1979 viste tendensen et stadigt nedadgående trafikarbejde, hvilket er illustreret på figur 4.1.

I starten af 1980'erne var forventningerne til trafikarbejdets udvikling ikke store, og da der samtidig var en overkapacitet på vejnettet som følge af 1960'ernes store vejudvidelsesprojekter, blev kræfterne i stedet rettet mod drift og vedligehold af vejene. Efter at have nået lavpunktet i 1981-1982 begyndte trafikarbejdet at stige igen, og denne stigning er fortsat lige siden med enkelte og kortvarige stagneringer.

Figur 4.1: Trafikarbejdets udvikling i perioden 1978-1994.



Til trods for at den stigende trafik også medførte stigende trængsel, var det ikke på et alarmerende niveau, da der stadig var en overkapacitet på vejene. Af samme grund udgjorde trængsel ikke noget større økonomisk problem for samfundet, hvorfor der ikke har været fokuseret så meget herpå, som der har på eksempelvis uheldsbekæmpelse.

Den manglende fokus på trængsel har medført en tilsvarende mangel på metoder til at beskrive trængsel. Traditionelt har belastningsgraden, givet ved antallet af køretøjer i forhold til strækningens kapacitet, sammen med gennemsnitshastigheden angivet serviceniveauet på en strækning. For kryds benyttes en mere kompliceret metode, der også bl.a. angiver belastningsgraden i tilfartssporene samt en middelforsinkelse (Vejdirektoratet 2005). Således har der været fokuseret på analytiske metoder til at opgøre trængsel. Disse bygger på generaliserede formler, der ud fra en række forudsætninger kan vurdere graden af trængsel på et vejnet.

Med de nuværende metoder til beskrivelse af trængsel kan problemerne kun i nogen grad beskrives, og samtidig kræves en betydelig mængde forskelligt data, specielt for kryds. Derfor er det interessant at udvikle en alternativ metode, der ud fra en empirisk indgangsvinkel, beskriver et specifikt vejelement ud fra en repræsentativ stikprøve af trafikken herpå. Hermed ønskes en metode, der giver sammenlignelige resultater, hvad enten der er tale om en motorvej og en bygade, eller om det er to strækninger med forskellig længde. Herudover er det for byernes vedkommende specielt interessant at kunne beskrive krydsenes effekt på trængslen, da disse har den laveste kapacitet og herved udgør flaskehalsene på vejnettet. Således er hovedformålet med dette projekt at opsætte nogle standarder for, hvordan trængsel kan beskrives og kvantificeres på et hvilket som

helst vejnet, hvad enten det er i byerne eller på landet.

Udover at beskrive trængsel ønskes det også at vurdere mulighederne i GPS-teknologien, da denne kan give et hastighedsbillede over en hel strækning i stedet for blot at beskrive et enkelt snit. Problemet med dette er dog, at det indtil videre er økonomisk umuligt at beskrive samtlige køretøjer på en given strækning vha. GPS-loggere i modsætning til traditionelle tællinger, hvor samtlige passager inden for et givent tidsrum registreres. Således kan GPS-registreringer give et detaljeret billede af trængslen, men kun for en udvalgt mængde køretøjer, hvorfor det er interessant at undersøge, hvor stor en del af køretøjerne, der skal registreres, før der med en vis statistisk sikkerhed kan beskrives et retvisende billede af trængselssituationen.

Projektet tager udgangspunkt i den tidligere valgte definition på trængsel:

- *”Trængsel er et udtryk for de gener, som trafikanterne påfører hinanden i form af nedsat bevægelsesfrihed, når de færdes i trafiksystemet.”*

På baggrund af dette opfattes trængsel udelukkende som en målestok for, i hvor høj en grad bilisterne påvirker hinandens rejsetid. Trængsel er med denne definition således ikke ensbetydende med en uønsket eller negativ situation, men en vis grad af trængsel kan derimod defineres som uacceptabel. Hovedformålet med dette projekt er ikke at definere den acceptable grænse, men i stedet at kunne vurdere den samlede effekt af trængsel, uanset graden, for en strækning, et kryds eller for et helt område.

Projektets overordnede problemstilling er formuleret i følgende spørgsmål, der udgør projektets problemformulering:

- *Hvordan kan en generel metode til registrering, analyse og kvantificering af trængsel udformes, således den på baggrund af GPS-data fra en flåde af køretøjer kan benyttes for ethvert vejnet?*

Dette spørgsmål søges besvaret ud fra følgende underspørgsmål, der beskriver en række problemstillinger, der opstår i tilknytning til den valgte problemformulering:

1. Hvordan analyseres GPS-data med henblik på opgørelse af trængsel?
2. Hvordan undersøges validiteten af GPS-data?
3. Hvordan bestemmes tidstabet ved trængsel i en trafikstrøm, og hvordan opskales dette til et helt vejnet?
4. Hvordan bestemmes trængselsgraden for en trafikstrøm?

Ad 1)

I dette projekt arbejdes der som udgangspunkt med en datamængde på 60 millioner logninger. Samtidig er GPS-registrering en forholdsvis ny metode til at indsamle hastighedsdata, hvorfor der ikke foreligger standardiserede metoder og programmer til at analysere dette. Derfor bliver udfordringen i dette projekt at benytte eksisterende og udvikle nye procedurer til analyse af det indsamlede data, da dette har en størrelse, der umuliggør en manuel analyse.

Ad 2)

For at kunne drage konklusioner ud fra projektets analyser, er det vigtigt at validere datagrundlaget. Valideringen vil bestå af en sammenligning med traditionelt indsamlet hastighedsdata fra et bestemt snit på et bestemt tidspunkt. Hermed kan det vurderes, om projektets GPS-data afspejler trafikken i den specifikke tidsperiode, eller om det viser et anderledes billede. Udfordringen her er at gøre de to datatyper, GPS og snitdata, sammenlignelige, da de pr. definition udtrykker to forskellige hastigheder. En anden metode er en sammenligning med Dankap, som er et udbredt program til beregning af trængsel. Her bliver udfordringen at opnå sammenlignelige resultater, da beregningsforudsætningerne for programmet er forskellige fra dem, der benyttes i dette projekt.

Ad 3 og 4)

Trængsel kan beskrives på to måder. Den ene er ved en forøgelse af rejsetiden kaldet tidstabet eller measure of delay. Den anden metode er ved en sænkning af rejsehastigheden i forhold til bilistens ønskede hastighedsvalg, kaldet trængselsgraden. Dette kan også udtrykkes som en flow rate, der svarer til den reciprokke værdi af trængselsgraden. Begge værdier kan findes ved en sammenligning mellem en aktuel situation og en situation, hvor der ikke er trængsel. Den aktuelle situation er forholdsvis simpel at bestemme, mens situationen uden trængsel er sværere at bestemme. Derfor vil fokus i dette projekt hovedsageligt ligge i at bestemme en trængselsfri situation benævnt free-flow.

4.2 Afgrænsning

I dette projekt er der valgt en række overordnede afgrænsninger, som er med til at forme indgangsvinklen til projektarbejdet. Udover disse overordnede afgrænsninger er der valgt nogle mere specifikke afgrænsninger inden for de enkelte analyser. Disse beskrives i kapitel 5, hvor metodevalget for projektet generelt og for analyserne specifikt ligeledes fremgår.

Fokusområde

I dette projekt arbejdes der udelukkende med trængsel og effekten af denne. Således er der, som tidligere beskrevet, en lang række andre problemstillinger i trafikken, som ikke beskrives videre. Disse problemstillinger indgår i samfundsøkonomiske analyser på lige fod med trængsel, hvorfor en komplet sammenligning af de samfundsøkonomiske aspekter på et vejanlæg ikke kun kan bestemmes på baggrund af trængsel. I stedet søger dette projekt at give en præcis opgørelse af trængsels tidsmæssige konsekvenser, hvorfor sammenligninger og konklusioner kun er foretaget med henblik på netop trængselseffekter.

Data

Der benyttes GPS-data, der er indsamlet fra bilister med bopæl i det forhenværende Nordjyllands Amt i forbindelse med Spar På Farten-projektet, som er omtalt i kapitel 3. Dette er et projekt, der undersøger effekten af at give bilister et økonomisk incitament til at overholde hastighedsgrænserne plus 5 km/t. Det er vigtigt at være opmærksom på dette, da en del af testpersonerne således må forventes at vælge et hastighedsniveau, der maksimalt ligger på hastighedsgrænsen plus 5 km/t. Dermed kan de som gruppe reagere anderledes end den samlede gruppe af trafikanter, da gennemsnitshastigheden i en strøm kan overstige hastighedsgrænsen. Dette ses specielt i perioder med en lav belastningsgrad.

Geografisk afgrænsning

Aalborg by er valgt som analyseområde, da den er den største by i Spar På Fartens dataindsamling. Herudover er den en større by med et vejnet, der i perioder er genstand for trængselsproblemer. Herved er Aalborg i høj grad en relevant lokalitet.

5 Analysemetoder

Dette kapitel har til formål at beskrive de metodiske forudsætninger, der ligger til grund for projektets forskellige analyser. Indledningsvist beskrives projektets videnskabsteoretiske tilgang samt den overordnede analysemetode. Herefter beskrives de forskellige analyseparametre samt øvrige beregningsforudsætninger for trængselsanalyserne og datavalideringen.

5.1 Videnskabsteoretisk tilgang

Forskellige videnskabsteoretiske tilgange og metoder har været flittigt debatteret og diskuteret, især gennem det seneste århundrede, idet der ikke har hersket enighed omkring de grundlæggende syn på videnskab og forskning.

Helt overordnet set har det positivistiske paradigme stået i opposition til det fortolkningsvidenskabelige paradigme. Hvor positivismen har søgt at opstille og afprøve hypoteser om årsagssammenhænge gennem empiriske observationer, har den fortolkningsvidenskabelige metode ønsket at fortolke et subjektivt meningsindhold, idet en given handling ses som en subjektivt meningsfuld ytring, og ikke som resultat af en universal lovmæssighed. (Andersen et al. 2002)

Den videnskabsteoretiske tilgang i dette projekt er udpræget positivistisk. Dette er tilfældet da grundlaget for projektet, som beskrevet andetsteds, består af indsamlede empiriske data, der vil udgøre udgangspunktet for en afprøvning af opstillede metoder til trængselsrelaterede analyser. Herudover vil datasæt, indsamlet på forskellig vis, danne basis for en validering af GPS-registreringer som indsamlingsmetode.

Trængsel opstår som summen af en mængde individers handlinger, der indebærer at de benytter den samme del af et vejnet på samme tid og dermed kommer til at øve indflydelse på hinanden i form af nedsat bevægelsesfrihed. Således kunne en mere fortolkningsvidenskabelig og kvalitativ tilgang til emnet trængsel være at fortolke årsagerne til de sammenfald af valg, der medfører fænomenet trængsel, f.eks. gennem interview omkring transportvaner. En anden fortolkningsvidenskabelig tilgang til emnet kunne være en differentiering mellem ventetidens vigtighed ved forskellige ærinder, randbebyggelser, årstider osv.

Den positivistiske tilgang søger at kvantificere de observerede handlinger gennem objektive betragtninger, eksempelvis ved registrering af hastigheder, for derigennem at analysere fænomenet trængsel. Den positivistiske tilgang i projektet er valgt, da det ønskes at fokusere på trængsel og opgørelsen heraf. De fortolkningsvidenskabelige metoder er ikke velegnede til dette formål, da opfattelsen af hvad trængsel er, og hvornår der er trængsel, er meget subjektiv, hvilket gør det meget vanskeligt at basere en analyse på disse metoder.

5.2 Overordnet analysemetode

Trængsel kommer til udtryk i form af forsinkelser grundet nedsat rejsehastighed i situationer, hvor kørslen påvirkes af øvrige trafikanter. Den overordnede metode, hvorefter rapportens analyser udføres, vil bestå i sammenligning mellem situationer med trængsel og situationer uden trængsel.

Analyserne kan således karakteriseres som et før/efter-studie. Før/efter-studier benyttes ofte ved trafikikkerhedsevalueringer, hvor effekten af et tiltag analyseres ved sammenligning mellem registreringer før og efter etableringen af det givne tiltag. Således er forekomsten af trængsel i denne rapport analyseret, hvis effekt ønskes analyseret. Til forskel fra traditionelle før/efter-analyser er der i dette projekt ikke et konkret skæringstidspunkt før, hvad der er før, og hvad der er efter. Derimod vil en konkret periode med et givet niveau af trængsel blive sammenlignet med en sum af situationer uden trængsel, som kan stamme fra en række vidt forskellige perioder. Disse vil således tilsammen udgøre førperioden uden trængsel, mens den trængselsbelastede periode udgør efterperioden.

Den aktuelle tid det tager en bilist at tilbagelægge en given strækning kan idealiseret set anskues som bestående af to komponenter. Den ene komponent er rejsetiden i en ideel situation, som udtrykker den tid gennemkørsel af strækningen ville have taget i en situation helt uden trængsel. Denne benævnes free-flow-rejsetiden. Den anden komponent udtrykker det ekstra tidsforbrug, der er forbundet med påvirkningen fra øvrige trafikanter med ændret hastighedsvalg og kørselsmønster til følge. Dette kan udtrykkes ved følgende ligning:

$$t_{\text{aktuel}} = t_{\text{free-flow}} + t_{\text{trængsel}}$$

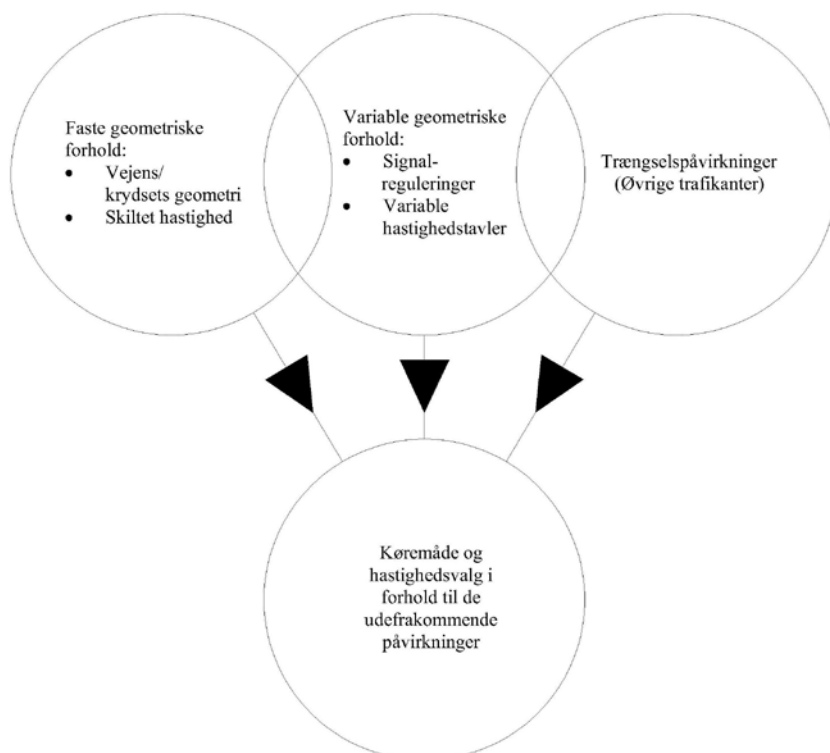
Den faktor, det ønskes at bestemme i dette projekt, er det trængselsrelaterede tidsforbrug, også kaldet forsinkelsen. Denne kan findes, hvis de to øvrige faktorer i udtrykket kendes. Således er forsinkelsen,

givet som forskellen mellem den aktuelle rejsetid og free-flow-rejsetiden.

I det følgende afsnit beskrives de primære analyseparametre, samt hvordan disse forholder sig til hinanden. Senere i metodedelen beskrives metoder til bestemmelse af disse, samt hvordan dette i praksis er gjort i dette projekt. Da datagrundlaget blot udgør en stikprøve af den samlede trafik, udføres, udover de egentlige analyser, en data-validering for at vurdere kvaliteten af de tilgængelige GPS-data. Sidst i metodedelen vil det blive beskrevet, hvorledes denne er gennemført.

5.3 Analyseparametre

Af figur 5.1 fremgår de væsentligste af de påvirkninger, der har indflydelse på den enkelte bilists rejsetid over en given strækning. Disse er, sammen med den enkelte bilists valg af køremåde og hastighed i forhold til påvirkningerne, bestemmende for rejsetiden over den pågældende strækning. Påvirkningerne kan overordnet set grupperes som påvirkninger fra vejens geometri samt trængselspåvirkninger.



Figur 5.1: De væsentligste faktorer, der har indflydelse på rejsetiden.

Faste geometriske forhold

Der er en række geometriske forhold, som i almindelighed kan betrages som konstante. Disse udgøres af vejens grundlæggende geometri, såsom linjeføring, længdeprofil, tværprofil, samt skiltet hastighed. Disse påvirkninger vil være ens på alle tidspunkter og har således

ikke indflydelse på sammenligneligheden mellem de forskellige perioder.

Trængselspåvirkninger

Trængselspåvirkningerne udgøres af de øvrige trafikanter på vejnettet, der har indflydelse på den enkelte bilists køremåde og hastighedsvalg. Disse varierer i høj grad i forhold til forskellige tidspunkter og situationer. I spidsbelastningsperioderne kan påvirkningerne være så store, at trafikken bryder sammen, hvorved den enkelte bilist påføres en væsentlig forsinkelse. På andre tidspunkter, f.eks. i natperioder, kan påvirkningerne være minimale. Det er effekten af disse påvirkninger, det ønskes at bestemme i dette projekt. Med andre ord resulterer disse påvirkninger isoleret set i den forsinkelse, der skyldes trængsel på vejnettet.

Variable geometriske forhold

Af figur 5.1 ses også illustreret en kategori kaldet variable geometriske forhold. Denne dækker primært over påvirkninger fra signalregulerede kryds, men andre påvirkninger, eksempelvis variable hastighedstavler, hører også herunder.

Påvirkningen fra signalregulerede kryds er ikke konstant, men afhængig af trafikken. Mere præcist er den afhængig af en forventning om, hvordan trafikken vil være på det pågældende tidspunkt, selvom der kun er tale om en meget grov graduering. Grundet denne grove graduering vil signalsætningen i mange situationer ikke være optimal, ligesom signalgruppeplanerne ofte kun tilpasses det evigt skiftende trafikbillede, hvis der konstateres et "egentlig" problem.

For at foretage den ønskede sammenligning mellem en situation med og en situation uden trængsel, må trængselspåvirkningen ideelt set isoleres som værende den eneste faktor, der er til forskel mellem de sammenlignede situationer. I kraft af at de variable geometriske forhold varierer, er denne betingelse tilsyneladende ikke opfyldt.

De variable geometriske forhold varierer dog i forhold til netop trængslen, hvorfor der i stedet må ses på, hvor optimerede de er i forhold til de givne trafikmængder. Således må det antages, at lyssignalerne er optimalt indstillede i begge de sammenlignede situationer, hvorved det kun er trængslen, der varierer. Hermed vil sammenligneligheden være bevaret. Det er nødvendigt at være opmærksom på konsekvenserne af denne antagelse om optimalitet. Ved at gøre denne antagelse vil trængselssituationen ved ikke-optimale indstil-

linger i en af situationerne kunne over- eller undervurderes. Derfor må det også anbefales at optimere signalsætningen som det første tiltag til afhjælpning af de konstaterede trængselssymptomer.

Parametrenes indbyrdes forhold

Som tidligere beskrevet består rejsetiden mellem to punkter af to elementer; et tidsforbrug, der relaterer sig til vejens geometri samt et tidsforbrug, der relaterer sig til trængslen. I trængselsanalyser er tidsforbruget som følge af trængsel interessant, hvorfor dette ønskes isoleret. Ved en normal rejsetidsanalyse er det den samlede rejsetid, der bestemmes, hvorfor det er nødvendigt at beskrive en metode til bestemmelse af tidsforbruget, der relaterer sig til vejens udformning. Dette er et udtryk for en optimal rejsetid, der kaldes free-flow-rejsetiden.

Det første skridt består i at forstå free-flow-begrebet samt de faktorer, der har indflydelse herpå. Free-flow, eller "fri strømning" på dansk, udtrykker en situation, hvor den enkelte bilist ikke er påvirket af andre trafikanter. Således er hastighedsvalget kun påvirket af vejens geometri samt bilistens egen opfattelse af en acceptabel hastighed i forhold hertil. Dermed er f.eks. et skarpt sving en direkte påvirkning, der tvinger bilisten til at nedsætte hastigheden. En skiltet hastighed er derimod en indirekte påvirkning, som bilisten kan vælge at overholde eller ej, afhængigt af risikoviljen i forhold til bl.a. en evt. fartbøde eller øgede konsekvenser i tilfælde af et uheld.

Efter de direkte trængselsrelaterede påvirkninger er skåret væk, er påvirkningerne fra signalregulerede kryds stadig tilbage. Disse er en del af vejens geometri, men afhængige af trængslen. Fordi disse er afhængige af netop trængslen, bør de ikke have indflydelse på hastighedsvalget i en free-flow situation, hvor trængslen er lig nul, hvorfor også disse må skæres væk. Argumentet for dette består i, at når en bilist holder for rødt i et kryds, er det for at give andre potentielle trafikanter mulighed for at passere krydset. Hermed bliver den pågældende bilists rejsetid påvirket af den øvrige trafik, uanset om der er nogen, der udnytter denne mulighed eller ej. I en free-flow-situation forudsættes det, at der ikke er nogen øvrig trafik, hvorfor en standsning for rødt lys ikke bør forekomme. Således defineres en free-flow-situation i denne rapport som følger:

- I en free-flow-situation er bilistens hastighedsvalg ikke påvirket af øvrige trafikanter eller af signalreguleringer

De samlede påvirkninger, som ses af figur 5.1, resulterer i den aktuelle rejsetid, mens påvirkninger alene fra de faste geometriske forhold medfører en free-flow-rejsetid. De variable geometriske forhold er afhængige af trængslen, hvorfor disse tilsammen med de direkte påvirkninger fra den øvrige trafik, udgør den trængselsrelaterede forsinkelse.

Registrering af forsinkelser grundet ikke-optimerede lysreguleringer som trængsel kan kategoriseres som falsk trængsel, ligesom disse forsinkelser også kan medføre en kunstigt høj free-flow-rejsetid. Forsinkelserne skyldes ikke den øvrige trafik, men en manglende optimalitet i signalgruppeplanerne eller manglende implementering af teknologi, der kan lette en mere gradueret tilpasning til de aktuelle trafikmængder. Herudover er der forudsætninger omkring opretholdelse af et vist serviceniveau med hensyn til, hvor meget den enkelte bilist må forsinkes. Således vil den gennemsnitlige forsinkelse i nogle tilfælde kunne mindskes ved at påføre nogle enkelte bilister en stor forsinkelse.

Således er en registrering af de ovennævnte forsinkelser som en del af det trængselsrelaterede tidsforbrug eller som en del af free-flow-rejsetiden fejlagtig. Det er dog ikke umiddelbart muligt at skelne disse forsinkelser fra de øvrige tidsforbrug, hvilket understreger vigtigheden af at være opmærksom på denne problematik. Figur 5.2 illustrerer, hvorledes den falske trængsel kan medføre en forskel på det registrerede og det faktiske trængselsniveau.

Figur 5.2: Forskelle mellem de registrerede og de aktuelle tidsforbrug.

Free-flow		Trængsel	
Free-flow	Falsk trængsel/ kunstigt høj free-flow-rejsetid	Trængsel	

De førømtalte sammenligninger foretages indledningsvist på parameteren rejsehastighed, da hastighedsdata er givet direkte af hver enkelt logning. Rejsetiden og dermed forsinkelsen kan udledes, når længden af den pågældende strækning kendes, idet rejsehastigheden for en given strækning pr. definition er givet som forholdet mellem den tilbagelagte afstand og tidsforbruget forbundet hermed.

Kendes også trafikmængden kan den samlede forsinkelse beregnes. I det følgende kapitel beskrives beregningsmetoder for de ønskede

analyseparametre, henholdsvis aktuel hastighed og free-flow-hastighed, ligesom beregningsmetoder for valideringsdelen også vil blive gennemgået.

6 Beregningsmetoder

Som det tidligere er beskrevet, har denne rapport til formål at beskrive metoder til opgørelse af trængsel på et vejnet på baggrund af GPS-data. Dette gøres med udgangspunkt i det indsamlede GPS-data fra projekt Spar På Farten, der er beskrevet nærmere i kapitel 3. Dette datasæt består af en række momentane hastighedslogninger med en tilknyttet position samt andre relevante informationer. For at benytte disse data til trængselsanalyser er det nødvendigt at benytte en metode, der kan beskrive en tur igennem disse punktvisse informationer. Således er det nødvendigt først at gennemføre en behandling af data. Den indledende databehandling beskrives indledningsvist, hvorefter beregningsmetoder for analyseparametrene aktuel hastighed og free-flow-hastighed beskrives. Sidst i dette kapitel beskrives beregningsmetoderne i forbindelse med den udførte validering af projektets datagrundlag.

6.1 Overordnet sammenhæng mellem trafik og vejnet

Et vejnet består af strækninger og knudepunkter. Et knudepunkt kan defineres som et sted, hvor trafikanten kan vælge at fortsætte ad én af flere mulige strækninger. I princippet kan dette valg foretages ved alle indkørsler, hvorfor definitionen på knudepunkter afgrænses til de knudepunkter, der fremgår af vejkort samt lysregulerede indkørsler. Det sidste kan forekomme ved indkørsel til parkeringsarealer til større centre o.l. Da flere strækninger mødes i knudepunkter er det oftest her trængslen er størst, da kapaciteten er lavest.

For at kunne benytte den samme metode til at analysere både strækninger og knudepunkter, er det nødvendigt at nedbryde trafikken i trafikstrømme. Således defineres en trafikstrøm som:

- En strøm udgøres af alle de trafikanter, der ad den samme rute bevæger sig fra ét fastdefineret snit på vejnettet til et andet

I dette projekt er der kun indsamlet data fra bilister, hvorfor trafikanter skal erstattes af bilister i ovenstående definition. Generelt set kunne der dog være tale om en kombination af biler, busser, lastbiler, cyklister mm.

En strøm kan strække sig over få meter på en strækning eller over flere strækninger og knudepunkter. Fælles er det dog, at alle de passa-

ger, der udgør strømmen, har benyttet samme rute i samme retning. Således vil der altid som minimum forekomme to strømme mellem to snit.

Ud fra ovenstående definition vil der for en strækning være to relevante trafikstrømme, mens der for et firebenet kryds vil være 12 relevante trafikstrømme. I det følgende vil alle analyseområder blive opdelt i trafikstrømme, som analyseres hver for sig.

6.2 Forarbejdning af GPS-data

Til dette projekt er der i samarbejde med en datalogstuderende udarbejdet en række EDB-programmer, som kan foretage en geografisk udvælgelse af GPS-data, samt i nogen grad forarbejde dette inden analyserne påbegyndes. En nærmere gennemgang af brugen af de enkelte programmer fremgår af bilag 1.

Den samlede datamængde opbevares i en database, der i dette projekt udgøres af en kommasepareret fil. For at analysere en bestemt trafikstrøm defineres som input til programmet et geografisk rektangel, kaldet det primære område. Dette område definerer grænserne for hvilke data, der ønskes medtaget, mens alt uden for området er uinteressant for denne udvælgelse. I udvælgelsen af data aggregeres logningerne til ture. Dette er muligt, da dataudtrækket er foretaget med en primær sortering efter ID samt en sekundær sortering efter en samlet tidsstreng, indeholdende dato og tidspunkt. Herved er alle logninger placeret i turrækkefølge og ikke som en spredt mængde logninger. Således registreres to på hinanden følgende logninger som del af den samme tur, hvis de er foretaget af det samme køretøj, og ikke har en tidsforskel, der er større end 10 sekunder. Programmet registrerer alle ture i hver sin kommaseparerede fil, hvori de enkelte logninger fremgår.

I henhold til definitionen af trafikstrømme er det nødvendigt at kunne adskille disse inden for det primære område. Derfor defineres yderligere to mindre områder inden for det primære. Disse benævnes de sekundære områder og kan ses af figur 6.1, der viser et eksempel på, hvordan ét primært og to sekundære områder kan være definerede.

Når disse er definerede er det en betingelse i programmet, at turene skal have mindst én logning inden for hvert af de sekundære områder, for at blive registreret. Hermed er det muligt at generere turfiler for to strømme ad gangen.



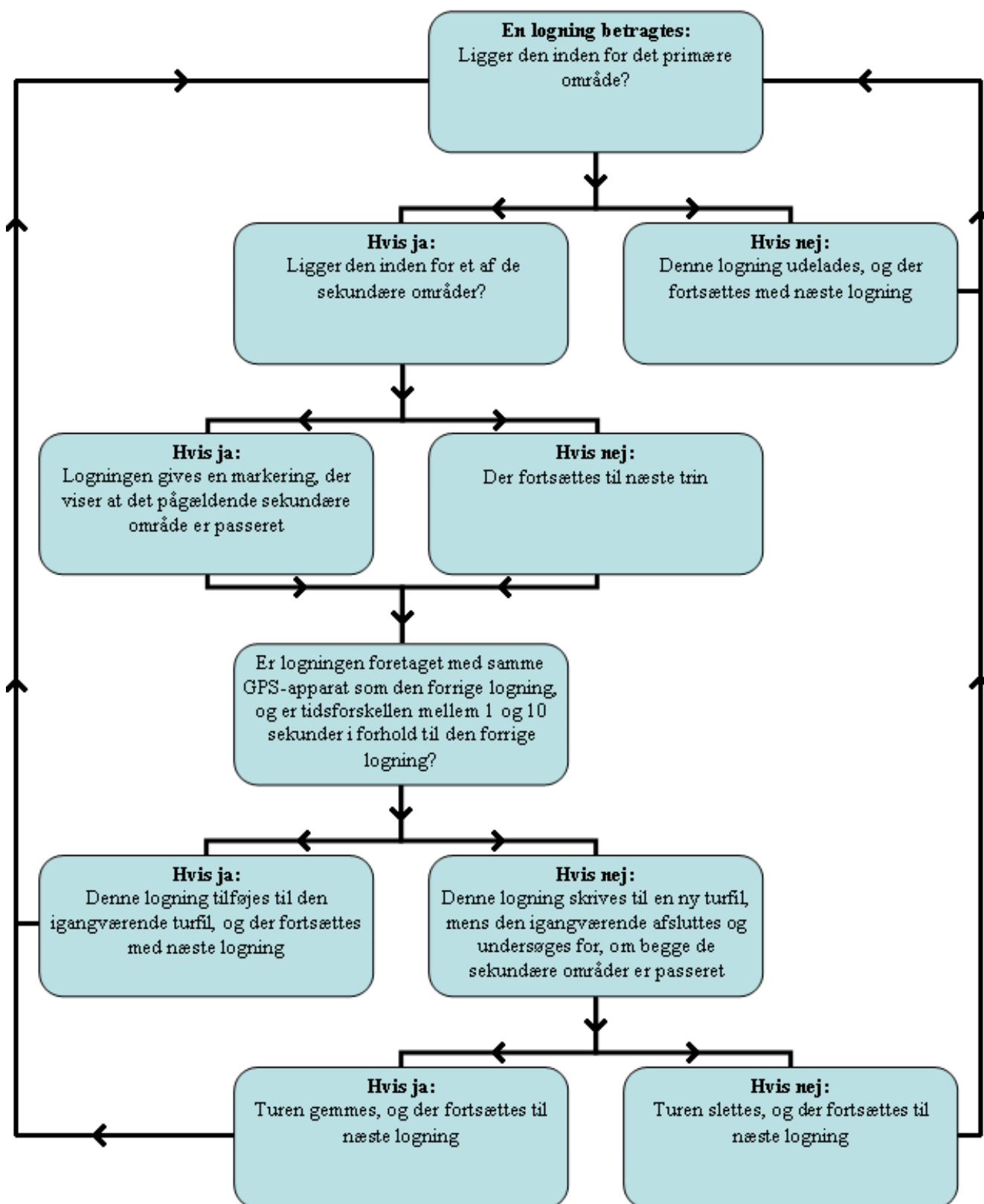
Figur 6.1: Eksempel på ét primært område indeholdende to sekundære områder.



Hver turfil navngives efter rækkefølgen de sekundære områder er passeret i, hvorefter de gives et nummer, så alle ture har et unikt navn. Eksempler på navngivning kunne være "Nord-Syd-1" eller "Hobrovej-Østre Allé-3", idet boksene kan tildeles et navn, således det er let at skelne de forskellige trafikstrømmes filer fra hinanden. Med denne funktion er det således muligt at retningsfordele turene. Programmets arbejdsgang fremgår af figur 6.2.

Efter programmet har gennemgået data, er resultatet en mængde kommaseparerede filer. Disse indeholder hver en mængde logninger, der beskriver en tur inden for det primære område og gennem de sekundære områder. Formatet gør, at turene kan indlæses i ArcGIS eller Excel for en videre analyse. Filerne indeholder følgende informationer om hver logning:

- **SNO** Serienummer - et unikt ID for hvert GPS-apparat
- **Dato** ÅÅMMDD, f.eks. 060715 for d. 15. juli 2006
- **Tid** TTMMSS, f.eks. 154632 for kl. 15.46.32
- **Ugedag** Mon – Sun
- **Tidsstreng** ÅÅMMDDTTMMSS, sammensætning af dato og tid for at kunne arrangere alle logninger kronologisk



Figur 6.2: Det benyttede programs arbejdsgang ved dataudvælgelsen.

- **X-position** X-værdien for positionen i UTM-koordinater
- **Y-position** Y-værdien for positionen i UTM-koordinater
- **Retning** Kompassretningen målt fra 0° til 360° med nord = 0°
- **Odometerhastighed** Hastigheden målt med odometer
- **Speedometerhastighed** Hastigheden målt med speedometer
- **Speedlimit** Gældende hastighedsgrænse
- **Sikkerheder** Sikkerheden hvormed positionen er beregnet
- **Satellitter** Antal satellitter benyttet til beregning af den aktuelle position

Turfilerne i sig selv vil kræve et større manuelt arbejde at analysere, hvorfor der benyttes i alt tre øvrige programmer inden analyserne påbegyndes.

Sammensætning af turfiler

Hvis det ønskes at analysere på samtlige logninger for turene i en trafikstrøm er det nødvendigt at generere en datafil med disse. Til dette benyttes et program, der kan sammensætte alle filer i en prædefineret mappe. Således genereres en fil, hvor logningerne fra hver turfil kopieres ind i.

Beregning af rejsehastighed

Dette program kan beregne rejsehastigheden for hver turfil. Således opretter programmet en ny kommasepareret datafil, der indeholder følgende parametre for hver tur. Ved værdier, såsom tid og dato, der kan variere for logningerne i en tur vælges værdien for turens første logning:

- **SNO**
- **Dato**
- **Tid**

- **Ugedag**
- **Odometer-rejsehastighed**
- **GPS-rejsehastighed**
- **Antal logninger i turfilen**

Med denne fil kan snithastigheden beregnes som gennemsnittet af rejsehastigheden for hver tur, mens strækningmiddelhastigheden kan findes ved et vægtet gennemsnit, hvor rejsehastigheden vægtes i forhold til antallet af logninger for hver tur.

Fordelene ved denne fil er, at det er muligt at analysere på turniveau. Herudover repræsenteres hver tur kun ved én linie i datafilen i stedet for en stor samlet fil, hvor alle logninger for alle ture indgår. Dette letter databehandlingen betragteligt, men udelukker samtidig muligheden for at analysere og korrigere hver enkelt logning.

Sletning af 0 km/t-ture

I identificeringen af free-flow kan det være en fordel at udelade ture, hvor køretøjet på et tidspunkt har holdt stille. De ønskede turfiler placeres i en prædefineret mappe, hvorefter dette program gennemgår hver fil. Hvis filen indeholder én eller flere logninger på 0 km/t slettes filen. Det er muligt at undersøge for enten odometer- eller GPS-hastigheden.

De tilbageværende ture kan efterfølgende behandles i de to ovenstående programmer til videre analyse.

6.3 Aktuel hastighed

Den aktuelle hastighed bestemmes ved først at udpege et analyseområde, som data udvælges efter, med det før omtalte program. Herefter bestemmes en periode som den aktuelle hastighed skal findes for. Det kan være en specifik time eller flere uger. Således foretages en yderligere afgrænsning af data inden de ønskede beregninger foretages.

Resultaterne af analysen er en gennemsnitlig rejsehastighed samt en gennemsnitlig rejsetid. Den gennemsnitlige rejsehastighed svarer til strækningmiddelhastigheden, som defineret i "Kompendium i vejtrafik" (Lahrmann et al. 1994). Denne beregnes som gennemsnittet af samtlige hastighedslogninger for alle ture, der har passeret mellem de to sekundære områder i det ønskede tidsinterval.

Den gennemsnitlige rejsetid kan efterfølgende beregnes som analysestrækningens distance divideret med den gennemsnitlige rejsehastighed.

6.4 Free-flow-hastighed

Resultatet af en trængselsanalyse kan benyttes på flere måder, som hver især stiller forskellige krav til metoden, som free-flow-hastigheden bestemmes efter. Den simple metode består i at undersøge forskellen på hastighedsvalget med og uden trængsel.

Formålet med at bestemme en free-flow-rejsehastighed er at bestemme en gruppe bilisters hastighedsvalg, hvis de ikke havde været udsat for trængsel. Således vil hastigheds- eller tidsforskellen mellem den aktuelle situation og free-flow-situationen være et udtryk for trængslens påvirkning.

For at bestemme en free-flow-hastighed for en udvalgt gruppe bilister vil det mest korrekte være, at lade disse bilister køre den samme rute under de nøjagtigt samme forudsætninger med den undtagelse, at deres hastighedsvalg ikke påvirkes af andre trafikanter. På denne måde vil der være tale om en før/efter-undersøgelse af hver enkelt bilists hastighedsvalg med og uden trængsel. Resultatet af dette vil være den aktuelle ændring i hastighedsvalget. Denne metode vil være både praktisk og økonomisk umulig, hvorfor tilnærmede metoder må benyttes.

Hvis resultaterne af trængselsanalyserne skal benyttes til samfundsøkonomiske beregninger, er det nødvendigt at overveje, hvordan hastighedsoverskridelser skal håndteres, ligesom der også er en række problematikker omkring signalreguleringer. I de to følgende afsnit beskrives disse problematikker, samt hvordan der kan foretages korrektioner, hvis dette ønskes.

6.4.1 Hastighedsoverskridelser

Ved valg af metode til bestemmelse af free-flow-hastigheder er det vigtigt, at gøre det klart, hvordan hastighedsoverskridelser ønskes håndteret. Dette er tilfældet, da det er etisk problematisk at indregne disse i free-flow-hastigheden.

Ønskes det at belyse den "rene" forsinkelse som følge af trængsel, må hastighedsoverskridelserne fortsat bidrage til bestemmelse af free-flow-hastigheder. Således haves trængslens indflydelse isoleret set, hvilket kan være en interessant parameter. Denne parameter benæv-

nes den aktuelle free-flow-hastighed.

- Den aktuelle free-flow-hastighed er det frie hastighedsvalg i en situation uden trængsel, inklusive eventuelle hastighedsoverskridelser.

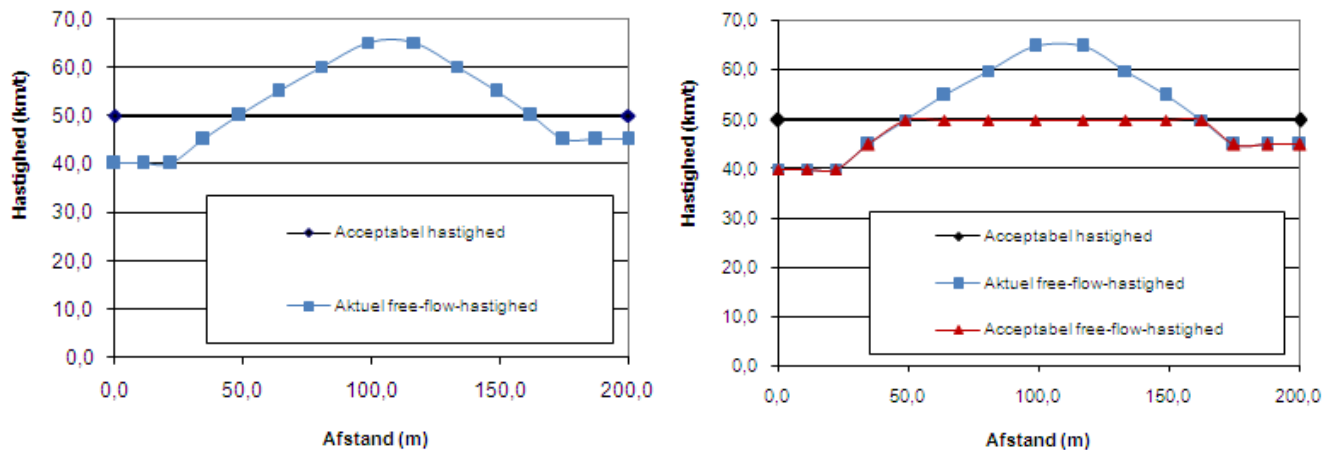
Problematikken består i, at hastighedsoverskridelser ses som et problem for samfundet, ligesom disse også indirekte prissættes i samfundsøkonomiske beregninger, mens de samme hastighedsoverskridelser vil højne en beregnet free-flow-hastighed og derved også have indflydelse på prissætningen af trængsel. Derved opstår en situation, hvor hastighedsoverskridelserne på den ene side siges at udgøre en omkostning for samfundet, mens det på den anden side også siges at udgøre en omkostning for samfundet, at køretøjerne i trængselperioder ikke kan rejse med samme hastigheder som de køretøjer, der i free-flow-situationerne overskrider hastighedsgrænserne.

For at håndtere problemstillingen omkring hastighedsoverskridelser og samfundsøkonomiske betragtninger sættes free-flow-hastigheden i Projekt Trængsel, som tidligere nævnt, maksimalt til hastighedsgrænsen. Dette betyder dog, at hastighedsoverskridelserne i de fleste tilfælde stadig kan have en betydelig indflydelse på free-flow-hastigheden. Således kan en gennemsnitshastighed uden for myldretiderne på 50 km/t på en strækning med hastighedsgrænse på 50 km/t i høj grad være påvirket af hastighedsoverskridelser, hvorved den førnævnte problematik stadig vil være til stede.

For at forhindre hastighedsoverskridelserne i at have indflydelse på free-flow-hastigheden kan hver enkelt registreret hastighed, der overskrider den gældende hastighedsgrænse, nedjusteres til denne før free-flow-hastigheden bestemmes. Ved at følge denne metode elimineres hastighedsoverskridelsernes indflydelse fuldstændigt, hvorved trængselkvantificeringen kan benyttes i samfundsøkonomiske beregninger. Denne parameter benævnes fremover den acceptable free-flow-hastighed og det kan også vælges at acceptere hastighedsoverskridelser op til eksempelvis 5 km/t eller 10 %.

- Den acceptable free-flow-hastighed er det frie hastighedsvalg i en situation uden trængsel, hvor logninger med hastigheder over den acceptable hastighed (f.eks. hastighedsgrænsen) nedjusteres til denne.

Af figur 6.3 ses illustreret henholdsvis det aktuelle og det acceptable free-flow-hastighedsprofil for en free-flow-situation, der er forløbet over en given strækning.



Den acceptable hastighed er på denne strækning 50 km/t og kan f.eks. være hastighedsgrænsen. De nærmere omstændigheder omkring redueringen af hastighedslogningerne fremgår af bilag 1.

6.4.2 Signalregulerede kryds

Omkring signalregulerede kryds er der nogle omstændigheder, det er nødvendigt at være opmærksom på i forbindelse med bestemmelse af free-flow-hastigheder. Som beskrevet tidligere kan tidsforbruget ved gennemkørsel af en strækning i en free-flow-situation relateres til vejnettets geometri. Således kan det også vælges at anse tidsforbruget forårsaget af signalregulerede kryds som en del af free-flow-tiden. Dog er denne parameter, modsat vejnettets øvrige geometri, ikke konstant over de sammenlignede perioder, men indirekte afhængig af trafikken i form af forskellige programmer til forskellige perioder.

For at den identificerede trængsel reelt skal være en konsekvens af øvrige trafikanters påvirkning, må signalsætningen være optimal i forhold til de trafikmængder, der forekommer på ethvert tidspunkt, eller alternativt lige optimal i de sammenlignede perioder. Således kan det være en fejlkilde i forhold til bestemmelse af free-flow-hastigheden, hvis signalsætningen i free-flow-situationerne ikke er lige så optimal som i spidsbelastningsperioderne.

Signalsætningen i de signalregulerede kryds er en fast forudsætning for den ønskede analyse. Ofte vil det være hastigheder fra en spidsbelastningsperiode, der sammenlignes med hastigheder fra f.eks. nat-timerne. Signalanlæggene må som udgangspunkt antages at være

Figur 6.3: Til venstre ses det aktuelle og til højre det acceptable free-flow-hastighedsprofil for en strækning med en acceptabel hastighed (f.eks. hastighedsgrænsen) på 50 km/t.

optimerede i forhold til krydsets spidsbelastningsperiode, ligesom de fleste signalanlæg også har en separat indstilling for nattetimerne. Således vil de mest relevante trængselsopgørelser, i spidsbelastningsperioderne, i mange tilfælde ikke være nævneværdigt påvirket af denne fejlkilde. Dog vil signalsætningen også i mange tilfælde være optimeret efter forældede trafiktal og krydstællinger, hvorved dette kan udgøre en betragtelig fejlkilde i trængselsopgørelsen.

En faktor det tillige er nødvendigt at være opmærksom på, er hvorvidt de enkelte lyskryds er tidsstyrede eller trafikstyrede, f.eks. ved brug af spoler. Mens dette ikke har den store betydning i belastede perioder, hvor spolerne nærmest konstant passeres i alle tilfarterne, har det betydning for bestemmelse af free-flow-hastigheden. Således vil trafikstyrede lyskryds gennemsnitligt give højere free-flow-hastigheder. At ændre et lyskryds til at være trafikstyret kræver et vist indgreb i form af nedfræsning af spoler samt en vis investering. Det kan således diskuteres, hvorvidt sådanne forhold forstyrrer det korrekte billede af free-flow-hastigheden eller hører under vejens geometri.

Dette projekts definition på en free-flow-situation forudsætter, at bilisten ikke er påvirket af signalanlæg i kryds. Derfor kan det i udvælgelsen af ture til bestemmelse af free-flow-rejsehastigheden vælges at se bort fra ture med en eller flere hastighedslogninger på 0 km/t, der indikerer, at bilisten har holdt for rødt eller gjort andre stop. I stedet for 0 km/t kan den nedre grænse også sættes til en anden hastighed, der kan indikere, at free-flow-betingelserne ikke er overholdt. Metoden med anvendelse af en nedre hastighedsgrænse kan kun anvendes, så længe der ikke forefindes ubetingede vigepligter, da mange bilister bringer bilen til stop, inden der fortsættes ud i krydset. Dette kan gøres ved anvendelse af programmet til sletning af 0 km/t-ture, som beskrevet i afsnit 6.2.

6.4.3 Gennemsnit af data fra lavt belastede perioder

Anvendelsen af data fra lavt belastede perioder er en meget udbredt metode i andre projekter. Således defineres free-flow-hastigheden som den gennemsnitlige rejsehastighed i perioderne med lav trafikintensitet. Dette ses f.eks. i Projekt Trængsel (Trafikministeriet 2004b), der definerer perioden uden for spidstimerne som free-flow-perioder, hvor free-flow-hastigheden dog ikke må overskride den tilladte hastighed. Den engelske organisation ITIS, som løbende indsamler data fra en flåde på 100.000 køretøjer, definerer free-flow-perioden som værende mellem kl. 22.00 og 06.00 (ITIS 2007).

Metoden er yderst anvendelig, da den som udgangspunkt er analog til bestemmelsen af den aktuelle rejsehastighed, som beskrevet i afsnit 6.3. Den eneste forskel er, at den gennemsnitlige hastighed findes ud fra en periode, hvor sandsynligheden for free-flow-situationer er større. Således kan metoden overføres direkte, hvis den aktuelle free-flow-hastighed ønskes bestemt, mens den acceptable free-flow-hastighed kræver en modificering af data, som beskrevet i afsnit 6.4.1. Ligeledes må der foretages en yderligere udvælgelse, hvis påvirkningerne fra signalreguleringer ønskes elimineret, som beskrevet i afsnit 6.4.2. Følgende valg skal træffes ved brug af denne metode.

- Ønskes den aktuelle eller den acceptable free-flow-rejsehastighed bestemt?
- Ønskes ture med 0 km/t-logninger frasorteret?

Med de ovenfor beskrevne metoder er det muligt at frasortere en mængde af de ture, der inden for den valgte free-flow-periode ikke overholder betingelserne for free-flow. Der er dog stadig en vis usikkerhed forbundet med denne udvælgelse, da det ikke kan påvises, at alle betingelser for free-flow er opfyldt for den enkelte tur.

6.4.4 Egne kørsler

En anden metode til bestemmelse af free-flow-rejsehastighed er at foretage en række testkørsler i det kryds eller på den strækning, der ønskes analyseret. På denne måde kan det sikres, at der kun benyttes ture, hvor free-flow-betingelserne er opfyldt.

Den ønskede rute gennemkøres et antal gange under betingelserne for free-flow. Herudover søges det at køre med en hastighed svarende til hastighedsgrænsen, hvor det er muligt, mens accelerationer og decelerationer bør holdes på et moderat niveau. Den sidste forudsætning er i høj grad en subjektiv vurdering, hvorfor det ved en sammenligning mellem flere kryds eller strækninger foretrækkes at anvende den samme chauffør.

6.4.5 Hastighedsgrænsen

Hvis der ikke foreligger tilstrækkeligt data for en free-flow-periode, og det ikke ønskes at udføre egne kørsler, kan hastighedsgrænsen benyttes som free-flow-rejsehastigheden. Dette er teoretisk set den "rigtige" acceptable free-flow-rejsehastighed for en strækning uden hastighedsdæmpende foranstaltninger eller andre geometriske forudsætninger der kan påvirke hastigheden, såsom skarpe sving.

I andre situationer kan der dog være store afvigelser mellem free-flow-rejsehastigheden og hastighedsgrænsen, mens den specielt for kryds er decideret uegnet. Derfor må denne betragtes som en sidste mulighed, hvis ikke andet er muligt.

6.4.6 Beregning af free-flow-rejsehastighed

For at beregne free-flow-hastigheden jf. afsnit 6.4.3 og 6.4.4 benyttes grundlæggende den samme metode, som for den aktuelle hastighed. Dataudvælgelsen foretages ved at definere det ønskede fokusområde, hvorefter free-flow-turene udvælges ved enten at afgrænse den samlede datamængde, eller ved at benytte data fra egne observationer. Dog skal der foretages korrektioner, hvis det ønskes at korrigere for hastighedsoverskridelser og/eller påvirkninger for signalreguleringer. Efterfølgende kan rejsetiden beregnes, som det fremgår af afsnit 6.3.

6.4.7 Opsummering

Der er fordele og ulemper ved alle de beskrevne metoder til bestemmelse af free-flow-hastigheden for en given strækning eller en strøm i et kryds. I tabel 6.1 er disse anskueliggjort for de tre grundmetoder fordelt over kriterierne; datagrundlag, sammenligningsgrundlag, ressourcer, sikring af free-flow-betingelser og objektivitet. Ved datagrundlaget er det vurderet, hvor dækkende og tilgængeligt data er ved brug af den pågældende metode, mens sammenligningsgrundlaget beskriver i hvor høj grad det vurderes sammenligneligheden mellem forskellige strækninger og kryds er bevaret. Under kriteriet ressourcer beskrives, hvor ressourcekrævende bestemmelsen er. Slutteligt vurderes det i hvor høj grad metoden sikrer opfyldelse af free-flow-betingelserne samt hvor objektiv den enkelte metode er.

På baggrund af ovenstående gennemgang og vurdering af de forskellige metoder samt en afprøvning på henholdsvis et kryds og en strækning vil det blive bestemt, hvilken metode det ønskes at bestemme free-flow-hastigheden efter i de øvrige analyser i rapporten.

6.5 Validering

Udover at foretage beregninger på baggrund af det indsamlede GPS-data er det også relevant at undersøge, hvor tydeligt en sådan stikprøve beskriver den samlede trafik. Således foretages en validering af datamængden for at vurdere kvaliteten af denne, og dermed kvaliteten af trængselsanalysernes resultater.

Kriterium	Metode		
	Gennemsnit	Egne kørsler	Hastighedsgrænsen
Datagrundlag	Potentielt stort, men specielt mindre veje og trafiksvage strømme kan have meget lav dækningsgrad i nattetimerne.	Data er altid tilgængeligt, dog meget ressourcekrævende.	Data er altid tilgængeligt.
Sammenligningsgrundlag	Vurderes som lavt.	Vurderes som højt.	Vurderes som meget lavt.
Ressourcer	Der kræves ingen yderligere dataindsamling og beregningerne foregår analogt til bestemmelsen af den aktuelle hastighed.	Kræver højt ressourceforbrug, idet der skal foretages kørsler for hvert enkelt kryds eller strækning, der ønskes analyseret.	Der kræves et minimum af arbejde for at bestemme free-flow-rejsehastigheden med denne metode.
Sikring af free-flow-betingelser	Ikke muligt at sikre, at free-flow-betingelserne er overholdt.	Free-flow-betingelserne kan sikres overholdt.	Free-flow-rejsehastigheden er i mange situationer meget misvisende.
Objektivitet	Repræsenterer et gennemsnit, men dette kan præges af få chauffører ved lave dækningsgrader.	Subjektivt i forhold til chaufførens køremåde.	Repræsenterer ikke et egentligt kørselsmønster.

6.5.1 Valideringsmetode

I dette projekt benyttes kun én metode til validering af det indsamlede GPS-data. I denne foretages en sammenligning mellem syv ugers snitmålinger på to trafikerede strækninger og GPS-data for samme snit.

En tur kan betragtes som en kontinuerlig linie, hvorfor en snitmåling betragter hver tur, som en rejsehastighed mellem to tætplacerede snit på tværs af kørebanen. En GPS-logning af en tur resulterer derimod i en række enkeltstående punkter, som hver indeholder momentane informationer om position, hastighed, retning osv. Således er det ikke umiddelbart muligt at vurdere rejsehastigheden for en GPS-logget tur mellem to prædefinerede snit, da det ikke er sandsynligt, at der er foretaget en logning i det øjeblik, bilen har passeret de to snit.

På baggrund af denne problemstilling er det nødvendigt at finde en tilnærmet metode, hvor de to forskellige slags data kan sammenlignes. I dette projekt er det valgt at udpege en delstrækning, som halveres af snittet, hvori snittællingen er foretaget, se illustration af figur 6.4.

Table 6.1: Fordele og ulemper ved de beskrevne metoder til bestemmelse af free-flow-hastigheder.

Figur 6.4: Illustration af det udvidede snit omkring snittet, hvori en snittælling er foretaget.



Længden på den udvalgte delstrækning skal bestemmes ud fra følgende to kriterier:

Alle ture skal registreres:

- Da logningerne foretages med ét sekunds interval er afstanden imellem dem lineært proportional med hastigheden. Således skal delstrækningen være længere end ét sekunds kørsel med den højst forventede hastighed. Med en hastighed på 50 km/t svarer distancen ca. til 14 m. Den højst forventede hastighed kan dog godt være over hastighedsgrænsen, hvorfor denne og ikke den tilladte hastighed bør ligge til grund for den mindst mulige distance. Hertil er det dog nødvendigt at indberegne GPS-usikkerheden, hvorfor en større distance i praksis bør vælges.

Strækningen skal være så kort som muligt:

- En snitmåling beskriver kun det momentane hastighedsbillede i det eksakte snit. Således kan dette være placeret på et sted, hvor der foretages mange accelerationer eller decelerationer. Dette vil have betydning for en udvidelse af snittet, da sammenligneligheden mellem det originale og det udvidede snit er betinget af, at hastighedsbilledet i det udvidede er konstant og magen til det originale. Derfor vil en strækning så kort som mulig medføre størst sikkerhed for, at de to snit er sammenlignelige.

Efter at have valgt en passende delstrækning, som på eksemplet der fremgår af figur 6.4 er valgt med en længde på 100 m, køres programmet, som omtalt i afsnit 6.2. Dette genererer automatisk en fil med rejsehastigheden for hver registreret tur. Denne er bestemt som gen-

nemsnittet af turens hastighedslogninger inden for delstrækningen. Herefter kan turene sorteres efter tidspunkt, hvor snitmiddelhastigheden for et ønsket tidsinterval er givet ved gennemsnittet af rejsehastigheden for hver tur, der har passeret delstrækningen inden for dette tidsinterval.

Resultaterne fra ovenstående analyse kan sammenlignes med tilgængelige snitmålinger, også kaldet Mastra-tællinger, der foretages døgnet rundt og dermed må forventes at registrere al trafik i snittet. Det er valgt at sammenligne data fra den samme periode for både Mastra-tællinger og GPS-data, hvorved der opnås størst mulig sammenlignelighed mellem de to datasæt. Således udgør GPS-datasættet en stikprøve af den samlede population, repræsenteret ved snittællingen.

Tilbage er to elementer, som en eventuel afvigelse mellem de to datasæt kan tilskrives. Det første element er den ovenstående problemstilling med, at de to datasæt ikke repræsenterer den eksakt samme distance. Dette søges dog elimineret ved at vælge så kort en distance som muligt, mens det ligeledes bør undersøges, om der kan forventes et stabilt hastighedsniveau henover den udvalgte delstrækning. Således bør der ikke udvælges en delstrækning i nærheden af kryds, hastighedsdæmpende foranstaltninger eller andre elementer, der medfører accelerationer eller decelerationer.

Det andet element er det faktum, at det indsamlede GPS-data kun udgør en stikprøve af den samlede trafik. Det er netop effekten af dette faktum, der ønskes undersøgt, hvorfor det er forsøgt at reducere antallet af parametre, der kan medføre en forskel i resultaterne fra de to beregninger. Således opnås størst mulig sikkerhed for, at en variation kan tilskrives, at GPS-datasættet ikke udgør en repræsentativ stikprøve af den samlede population, snittællingen.

6.5.2 Beregningsmetode

Ved sammenligning med en snitmåling kan den gennemsnitlige rejsehastighed ikke bruges. I stedet benyttes snitmiddelhastigheden, som defineret i "Kompendium i vejtrafik" (Lahrmann et al. 1994).

Snitmiddelhastigheden er den parameter, der normalt refereres til som gennemsnithastigheden. Den er defineret som gennemsnittet af et antal målte hastigheder i et bestemt snit, deraf navnet. Da alle hastigheder er målt i det samme snit, repræsenterer hver måling således den samme distance. Tiden er dog forskellig afhængig af ha-

stighed.

Snitmiddelhastigheden benyttes i maskinelle tællinger, da disse netop måler hvert køretøj over en fast distance. Derfor benyttes snitmiddelhastigheden i denne rapports validering, hvor der sammenlignes med maskinelt målte hastigheder.

GPS-apparaturet logger hastigheden med et fast tidsinterval, som for dette projekts data er 1 sekund. Således vil en simpel gennemsnitsberegning af en mængde logninger ikke give snitmiddelhastigheden, men derimod strækningsmiddelrejsehastigheden, som tidligere er beskrevet.

I stedet benyttes gennemsnittet af hver turs rejsehastighed, som alle repræsenterer den samme strækning. Hermed er metoden den samme, som for de maskinelle tællinger, og resultaterne bliver sammenlignelige.

7 Validering

Analyserne i denne rapport foretages på baggrund af godt 16 millioner GPS-logninger fordelt på Aalborgs vejnet. Dette tal siger dog ikke noget om, i hvor høj en grad disse logninger repræsenterer trafikken på strækningerne. Derfor er det fundet nødvendigt at undersøge sammenfaldet mellem det samlede trafikbillede, målt ved snittællinger, og en stikprøve af dette, som udgøres af det indsamlede GPS-data.

Herudover afprøves beregningsmetoden i forhold til EDB-programmet Dankap, som er et udbredt værktøj til beregning af kapacitet på strækninger og kryds.

Formålet med valideringen er at vurdere hvor små tidsintervaller, der kan beskrives med GPS-data. Således må det forventes, at præcisionen er mindst, hvis der ønskes en bestemt time på en bestemt dag, mens en aggregering af flere timer, f.eks. over en dag eller uge i højere grad vil give et validt resultat.

7.1 Testområde

Valideringen tager udgangspunkt i et snit på Østre Allé, som er en del af ringvejssystemet i Aalborg, se figur 7.1. Sammenligningen fore-



tages i et snit, som er afmærket på figuren. I dette snit er Østre Allé firesporet med en tilladt hastighed på 60 km/t, og snittet har en hver-

Figur 7.1: Det udvalgte snit på Østre Allé, der ligger til grund for datavalideringen.



dagsdøgntrafik på knap 24.000 køretøjer (Aalborg Kommune 2006). Strækningen forventes at være en af de bedst dækkede i dataindsamlingen pga. dens høje trafikintensitet samt dens betydning for trafikken mellem det østlige og vestlige Aalborg. Disse faktorer er betydende for både antallet af ture, samt antallet af unikke køretøjer på strækningen. Derfor er kvaliteten af data på denne strækning afgørende for, om det er relevant at benytte dette projekts datamængde til at beskrive trængslen på vejnettet i Aalborg.

I henhold til metodebeskrivelsen i kapitel 6 er der udvalgt et analyseområde, der strækker sig over 100 m. Dette forholdsvist store område er valgt for at opnå en god sandsynlighed for, at alle ture registreres på trods af eventuelle dataudfald samt usikkerheder på positionerne. Herudover vurderes det, at analyseområdets afstand til kryds og hastighedsdæmpende foranstaltninger gør, at der ikke foretages accelerationer eller decelerationer som følge af disse.

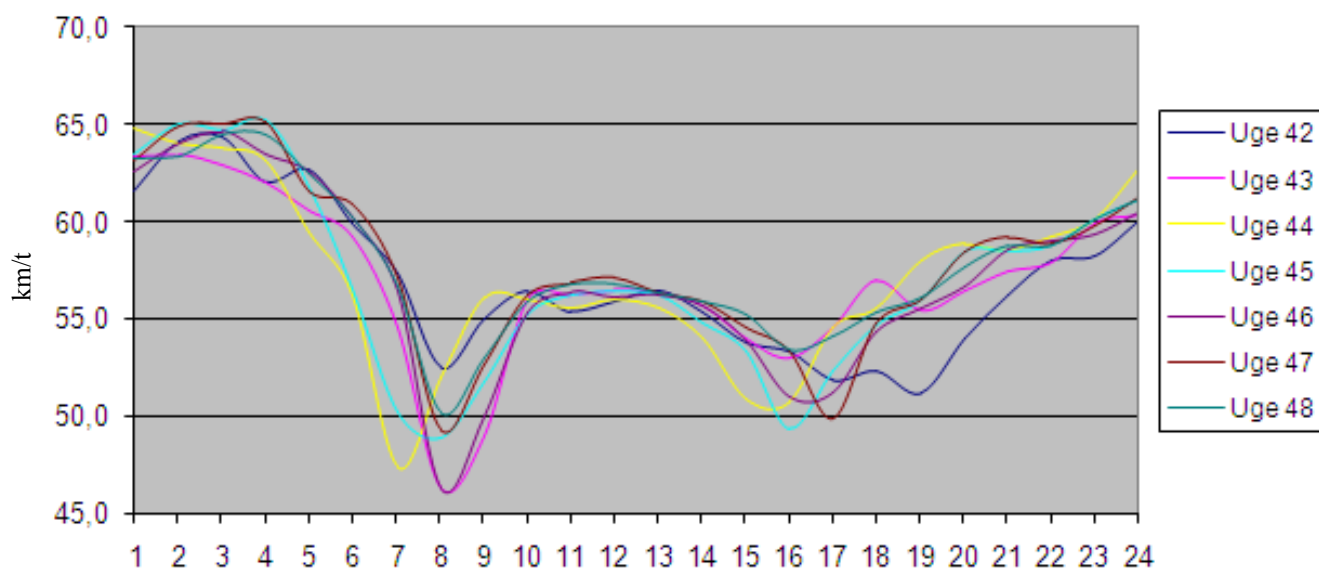
For sammenligningen med Dankapberegninger benyttes krydset mellem Østre Allé og Hobrovej.

7.2 Resultater

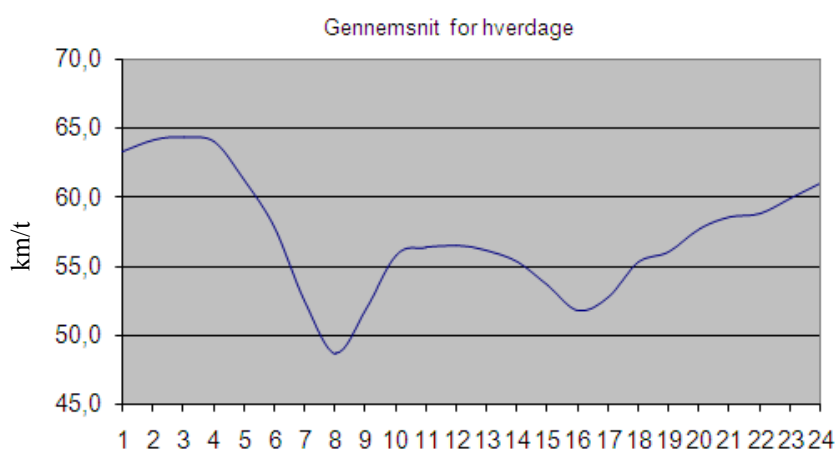
Valideringen foretages som en sammenligning, hvor variationen mellem mastratællinger og GPS-data vurderes. Der er valgt en periode på syv uger, der strækker sig fra mandag d. 16/10 2006 til søndag d. 3/12 2006. Projektets GPS-data er indsamlet fra og med maj 2006 til og med maj 2007. Derfor sammenlignes Mastratællingerne både med GPS-data for den specifikke periode samt hele indsamlingsperioden.

Det vurderes, at mastratællingerne for de syv uger er repræsentative for trafikken på strækningen over hele året. Således er der kun observeret en begrænset variation i timekurverne for hverdage i de forskellige uger. Dette fremgår af figur 7.2, hvor hastighederne for alle hverdage i de forskellige uger er tegnet op fordelt på timeintervaller. På figur 7.3 fremgår et gennemsnit af alle hverdage i de syv uger.

Indledningsvist er det valgt at sammenligne gennemsnitshastighederne for de to datasæt over perioden, der haves snittællinger for, samt at sammenligne snittællingerne med hele perioden, der haves GPS-data for. Disse hastigheder beregnes på baggrund af samtlige logninger uanset dag eller tid på dagen. Således er sammenligningerne baseret på det størst mulige datagrundlag. Resultatet af disse sammenligninger fremgår af tabel 7.1, hvor en sammenligning over alle hverdage samt alle ugedage ligeledes er foretaget.



Figur 7.2: Timekurver for hverdagene summeret over de enkelte uger.



Figur 7.3: Timekurve for alle hverdagene summeret over de syv uger.

I begge sammenligninger fremgår gennemsnitshastigheden fra GPS-data som værende mindre end for mastratællingerne. Dette er dog forventeligt, da GPS-datasættet er fra projekt Spar På Farten,

Tabel 7.1: Afvigelser mellem de forskellige datasæt og perioder.

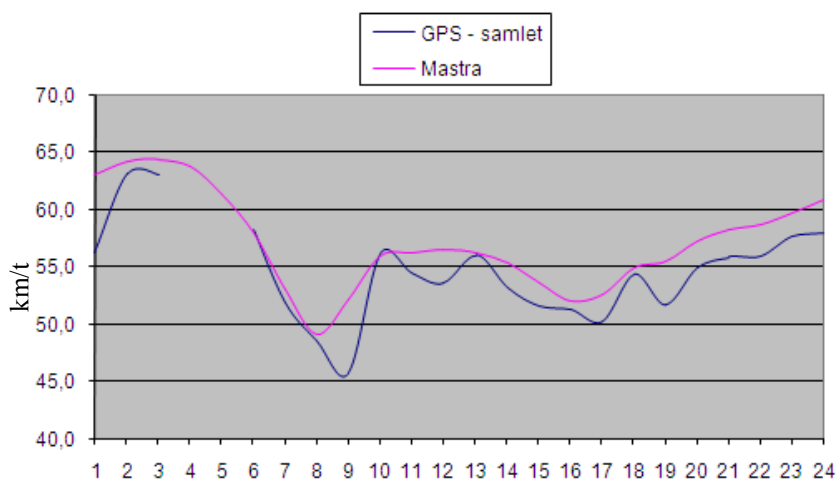
Periode	Mastra	GPS-data for Mastraperiode				Alle GPS-data			
	Hastighed (km/t)	Hastighed (km/t)	Afvigelse	Ture	Unikke ID'er	Hastighed (km/t)	Afvigelse	Ture	Unikke ID'er
Alle dage	55,6	54,1	-2,7 %	427	28	53,3	-4,2 %	2482	64
Hverdage	54,6	50,4	-7,6 %	322	24	52,5	-3,8 %	1936	63
Mandage	54,4	48,4	-11,0 %	68	14	51,5	-5,4 %	311	34
Tirsdage	54,2	50,9	-6,2 %	62	12	53,5	-1,3 %	449	38
Onsdage	54,4	48,9	-10,2 %	62	13	51,6	-5,3 %	380	37
Torsdage	54,4	51,2	-5,8 %	64	14	52,3	-3,9 %	403	45
Fredage	55,1	52,7	-4,9 %	67	15	53,4	-3,7 %	393	40
Lørdage	60,1	57,1	-5,0 %	64	17	56,1	-6,7 %	303	42
Søndage	59,6	54,9	-7,9 %	40	12	55,6	-6,7 %	243	29

som er et hastighedsdæmpende forsøg. Således bliver chaufførerne på nogle tidspunkter gjort opmærksomme på, når de overtræder hastighedsgrænsen med mere end 5 km/t. Disse overtrædelser har en økonomisk konsekvens for chaufførerne, hvorfor det må forventes, at der, specielt i lavt belastede perioder, vælges en lavere hastighed blandt disse chauffører i forhold til gennemsnittet.

Da mastratællingerne for perioden på syv uger vurderes at være repræsentative for hele året, vil den følgende validering blive foretaget på baggrund af den samlede mængde GPS-data. Som det fremgår af tabel 7.1 opnås der her generelt den laveste afvigelse. Af tabel 7.2 fremgår gennemsnitshastigheder summeret over hverdage fordelt på timeniveau. Værdierne fra denne tabel er ligeledes illustreret på figur 7.4.

Tabel 7.2: Afvigelser mellem de forskellige datasæt for hverdage fordelt på timeniveau.

Time	Mastra	Alle GPS-data			
	Hastighed (km/t)	Hastighed (km/t)	Afvigelse	Ture	Unikke ID'er
00-01	63,0	56,2	-10,9 %	11	8
01-02	64,1	63,1	-1,7 %	13	2
02-03	64,3	63,0	-2,1 %	19	3
03-04	63,7	-	-	-	-
04-05	61,3	-	-	-	-
05-06	57,9	58,3	0,5 %	66	2
06-07	53,0	51,8	-2,2 %	117	5
07-08	49,1	48,5	-1,1 %	215	16
08-09	52,2	45,7	-12,4 %	100	22
09-10	55,9	56,1	0,4 %	41	16
10-11	56,1	54,4	-3,0 %	61	19
11-12	56,4	53,5	-5,1 %	55	23
12-13	56,2	56,0	-0,4 %	80	29
13-14	55,3	53,1	-4,0 %	71	25
14-15	53,5	51,5	-3,8 %	101	28
15-16	52,0	51,2	-1,5 %	233	32
16-17	52,6	50,2	-4,5 %	209	34
17-18	54,9	54,3	-1,1 %	106	28
18-19	55,4	51,6	-6,8 %	127	28
19-20	57,2	54,9	-4,1 %	97	25
20-21	58,2	55,8	-4,1 %	72	24
21-22	58,6	55,8	-4,8 %	68	20
22-23	59,6	57,6	-3,5 %	49	19
23-24	60,8	58,0	-4,7 %	25	11
Samlet	54,6	52,5	-3,8 %	1936	63



Figur 7.4: De to datasæt fordelt på timeniveau for alle hverdage.

Af figur 7.4 fremgår det, at GPS-registreringerne generelt følger tendensen hos Mastratællingerne, dog med en generelt lavere hastighed. Det er dog ikke muligt at udpege hverken morgen- eller eftermiddagsspilstimen med GPS-turene, da disse falder forskelligt fra mastratællingerne. Derfor vurderes det, at data ikke bør findeles yderligere, f.eks. summeret over ugedage og fordelt på timeniveau, da dette vil medføre en yderligere usikkerhed omkring resultaterne. Der er to markante afvigelser i timerne fra kl. 00–01 og fra kl. 08–09. Den første må formodes at kunne forklares med de få ture, der ligger til grund for denne gennemsnitshastighed. Den anden er derimod baseret på et forholdsvis stort datagrundlag med 100 ture og 22 unikke ID'er. En nærmere gennemgang af de enkelte ture afslører dog, at knap 50 % af turene er foretaget inden for det første kvarter i timen, altså fra 08.00 til 08.15, mens kun knap 20 % af turene er foretaget i det sidste kvarter fra 08.45 til 09.00. På figur 7.4 fremgår det, at denne 9. time befinder sig på et sted med stor hældning på grafen for mastratællingerne. Det betyder, at trafikbelastningen aftager i denne periode, hvorved det første kvarter typisk vil være mere belastet end det sidste. Hermed kan den unaturligt lave gennemsnitshastighed for GPS-turene formentlig delvist forklares ved, at en forholdsvis stor mængde af passagerne er foretaget i starten af timen, hvor trængslen er størst.

7.3 Sammenligning med Dankap

Den traditionelle måde at regne på trængsel er med Vejdirektoratets EDB-program Dankap. Dette program kan både benyttes til at dimensionere og vurdere trængslen på strækninger og kryds. Beregningsmetoderne indeholder dog nogle forudsætninger og generaliseringer, der skaber en usikkerhed omkring de beregnede resultater. Derfor vil der i det følgende blive givet en sammenligning mellem Dankap og dette projekts beregningsmetoder for trængslen i et

kryds.

Ved beregning af trængsel i et kryds skal trafikmængder og antallet af spor ind i krydset indtastes. Herudover er der en række forudsætninger, der skal tages stilling til. Disse forklares i det følgende.

Ankomstfordeling

Ankomstfordelingen kan varieres efter brugerens ønske. Hermed kan der simuleres en mere eller mindre gunstig ankomstfordeling, hvorved trængslen varierer. I princippet betyder dette, at hvis alle bilister ankommer til krydset med en jævn fordeling, vil køerne være på et minimum, mens en mere varieret ankomst betyder en højere grad af kødannelse, som øger den samlede spildte tid. I denne beregning er standardindstillingen "Middel ankomstfordeling" valgt.

Signalplan

For signalplanen er det nødvendigt at definere antallet af faser, omløbstiden samt mellemtiderne. Herudover kan det vælges at tage højde for, at højresvingende har vigepligt for lette trafikanter. På baggrund af dette kan det vælges at lade Dankap beregne grøntiderne, eller disse kan indtastes af brugeren. Det er valgt at benytte brugerdefinerede grøntider.

Vejregler

For at foretage en avanceret beregning kan det vælges at ændre på en række faktorer, der benyttes som forudsætninger for beregningerne. Dette er f.eks. personbilækvivalenter, passagetider mv. I denne beregning vælges standardværdierne.

Øvrige forudsætninger

Udover ovenstående forudsætninger benytter Dankap bl.a. en forudsætning om, at alle tilfartsspor i princippet er uendeligt lange. Hermed tages der ikke højde for, at køer i ét spor kan stuve tilbage og blokere for adgangen til andre spor. Endvidere forudsættes hastighedsgrænsen altid overholdt, hvorved der altid vil være tale om acceptable situationer, hvad enten det er free-flow eller aktuelle situationer.

Dankap-beregningerne tager udgangspunkt i en krydstælling, der blev foretaget af Aalborg Kommune onsdag d. 22/3 2006 fra kl. 7.00 til 9.00 og fra kl. 15.00 til 17.00. De nærmere omstændigheder omkring beregningerne fremgår af bilag 3. Af tabel 7.3 fremgår de beregnede forsinkelser med hhv. Dankap og GPS-data. Udregningen af

Periode	Forsinkelse		Afvigelse (%)	Ture (Unikke ID'er)	Forsinkelse		Afvigelse (%)	Ture (Unikke ID'er)	Forsinkelse		Afvigelse (%)	Ture (Unikke ID'er)
	Dankap (s)	GPS (s)			Dankap (s)	GPS (s)			Dankap (s)	GPS (s)		
	Nord-Øst (V)				Nord-Syd (L)				Nord-Vest (H)			
Kl. 07-09	23	28	22	11(8)	29	14	-52	51(14)	4	25	525	1(1)
Kl. 15-17	56	41	-27	44(15)	31	23	-37	119(28)	28	35	25	1(1)
Vest-Nord (V)				Vest-Øst (L)				Vest-Syd (H)				
Kl. 07-09	41	%	%	0(0)	31	15	-52	189(8)	14	28	100	56(10)
Kl. 15-17	35	41	17	3(3)	31	19	-39	71(15)	16	18	-13	35(12)
Øst-Syd (V)				Øst-Vest (L)				Øst-Nord (H)				
Kl. 07-09	348	34	-90	32(4)	18	8	-56	30(9)	15	8	-47	15(9)
Kl. 15-17	635	18	-97	67(18)	19	15	-21	197(19)	14	6	-57	16(9)
Syd-Vest (V)				Syd-Nord (L)				Syd-Øst (H)				
Kl. 07-09	22	27	23	11(5)	29	26	-10	55(20)	19	46	132	32(7)
Kl. 15-17	42	34	-19	41(12)	28	20	-29	71(26)	32	40	25	43(17)

forsinkelserne på baggrund af GPS-data beskrives nærmere i kapitel 9, hvor dette kryds benyttes som eksempel til en afprøvning af beregningsmetoder.

I GPS-beregningen måles der for hver strøm 100 m før og efter krydset, mens der benyttes en acceptabel free-flow-værdi til at bestemme forsinkelsen. Forskellen i forudsætningerne for de to beregninger gør, at en vis grad af afvigelser må forventes. Derfor vil der ikke blive fokuseret i detaljer på resultaterne, men i stedet på de overordnede tendenser.

Med en signalplan svarende til den aktuelle i eftermiddagsperioden er det ikke umiddelbart muligt at opnå et klart sammenfald mellem en Dankap- og en GPS-beregning. Beregningen er ligeledes udført med grøntider beregnet af Dankap, se bilag 3, uden at opnå bedre resultater. Det er dog ikke umiddelbart muligt at give en præcis forklaring på resultaterne, da variationerne kan skyldes en lang række af faktorer.

Det er dog bemærkelsesværdigt, at Dankap beregner en relativt stor forsinkelse for øst-syd-retningen, da denne er beregnet på baggrund af en faktisk trafiktælling og en faktisk signalplan. Herudover er den GPS-målte forsinkelse i denne retning forholdsvis godt bestemt. Dette kunne tyde på, at den faktiske trafikafvikling i denne trafikstrøm er mindre trængselsplaget, end Dankap vurderer den til at være.

Tablet 7.3: Afvigelser mellem forsinkelser beregnet med Dankap og forsinkelser bestemt ud fra GPS-registreringer.

En egentlig kvalitetsvurdering af de må to måder at opgøre trængsel på kan ikke foretages på dette spinkle datagrundlag. Således må flere kryds undersøges, mens GPS-dataindsamling ligeledes skal foregå mere systematisk, så det sikres, at alle trafikstrømme er repræsenteret med sikre værdier.

I princippet vil en GPS-analyse afspejle det faktiske trængselsbillede, såfremt datamængden er repræsentativ og af en tilpas størrelse. En Dankap-beregning er et kvalificeret bud, der dog indeholder nogle forudsætninger, som aldrig eller kun i få tilfælde vil være at finde på et faktisk vejnet. Herudover foretages beregningerne på en række generaliseringer i form af passagertid o.l. Den primære fordel ved Dankap er, at det er muligt at vurdere effekten af en ændring i f.eks. signalplanen, hvor GPS-registreringerne udelukkende kan benyttes historisk eller i bedste fald i realtidsregistrering.

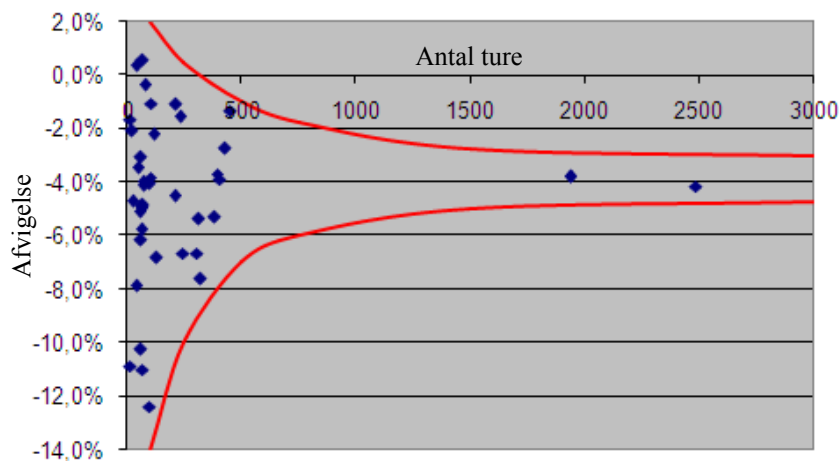
7.4 Delkonklusion

Med dette projekts datasæt vurderes det muligt at beskrive trafikken på større strækninger inden for intervaller, hvor der summeres over hverdage og fordeles på perioder ned til tre timer. Det er dog nødvendigt at bemærke, at nogle af chaufførerne kører med en generelt lavere hastighed end den samlede trafik, hvilket specielt gør sig gældende i perioder med lave belastningsgrader.

Overordnet set egner datamængden sig kun til at analysere de bedst dækkede strækninger, mens der for kryds nemt opstår trafikstrømme med en dækning, der er for lav til at opnå valide resultater.

Validiteten af data knytter sig til to faktorer; antallet af ture, og antallet af unikke ID'er. Antallet af ture er en åbenlys faktor, da trængsel inden for selv korte tidsperioder kan variere betydeligt. Derfor er det nødvendigt at basere et gennemsnit på en tilstrækkelig mængde ture, for at opnå en værdi, der er repræsentabel for det samlede gennemsnit. På figur 7.5 fremgår forholdet mellem antallet af ture og afvigelsen i forhold til Mastratællingen for hver beregnet periode i valideringen. Herudover er sammenhængen optegnet på skitseniveau, hvorfor der ikke er tale om en beregnet sammenhæng, men udelukkende en illustration af denne.

Af figur 7.5 fremgår det, at tendensen peger mod en mindre negativ afvigelse, og ikke 0. Dette skyldes som før nævnt, at den økonomiske fordel for nogle chauffører afspejler sig ved en generelt lavere gennemsnitshastighed i forhold til den samlede trafik.



Figur 7.5: Sammenhængen mellem antal ture og afvigelse med principillustration indtegnet.

Den anden faktor, antallet af unikke ID'er, er en faktor, der hovedsageligt har betydning i perioder med lav belastningsgrad. Dette skyldes, at jo mere frit hastighedsvalget er, jo større spredning vil der være på hastighederne. Derfor er det vigtigt, at en beregnet gennemsnitshastighed både bygger på en tilstrækkelig mængde ture, men også på et tilstrækkeligt antal chaufførers hastighedsvalg. Ligeledes er det vigtigt, at et dataindsamlingsprojekt benytter et repræsentativt udvalgt af befolkningen, for at opnå et repræsentativt kørselsmønster og hastighedsvalg.

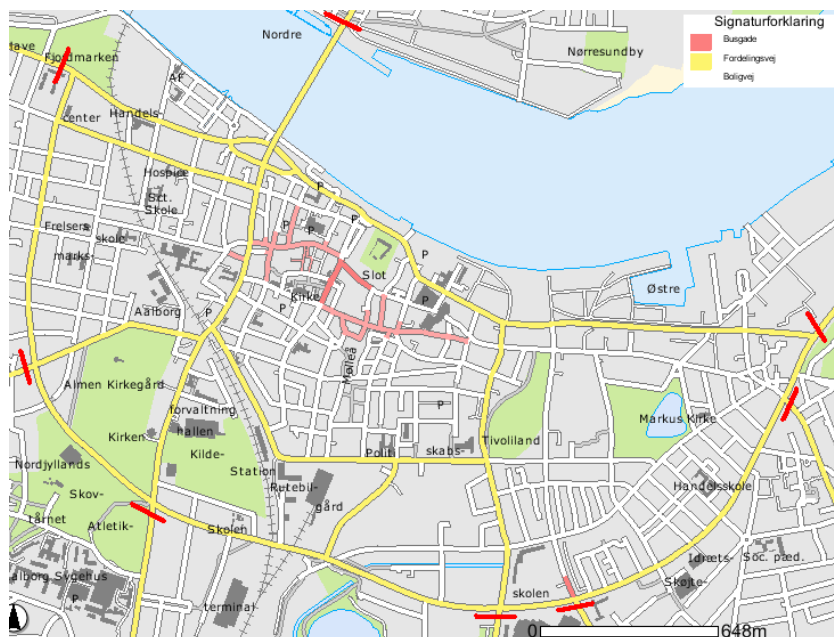
En kvalitetssikring kunne være at beregne et vægtet gennemsnit på baggrund af antallet af ture for hvert ID. Således vil ture af ID'er med mange passager blive vægtet lavt, mens ture af ID'er med få passager vægtes højt. På denne måde undgås det, at en enkelt eller få chauffører kommer til at dominere den beregnede gennemsnitshastighed.

På trods af denne generelle hastighedsafvigelse mellem chaufførerne og den samlede trafik er det valgt at benytte data i de følgende beregninger uden at korrigere for denne. Dette er valgt, da der i højere grad fokuseres på at beskrive de valgte metoder fremfor at opnå et korrekt estimat på trængslen.

8 Forundersøgelse

I dette projekts trængselsanalyse er det valgt først at foretage en yderligere afgrænsning af vejnettet. Dette skyldes, at trængselsanalyser hovedsageligt er relevante for stærkt trafikerede og højt prioriterede kryds og strækninger. Herudover er det oftest vanskeligt at opnå tilstrækkelige datamængder på mindre veje, hvorfor resultaterne for disse vil være både irrelevante og svagt valide.

På baggrund af ovenstående er der udvalgt et analysevejnet, som svarer til fordelingsvejene inden for Østre Allé-ringen i henhold til Aalborg Kommunes definition (Aalborg Kommune 2007). Udover dette er det valgt at medtage de fjordkrydsende forbindelser. Således fremgår analysevejnettet af figur 8.1 som vejene markeret med gult, afgrænset af de røde markeringer, hvortil kommer motorvejens krydsning af fjorden gennem Limfjordstunnellen.



Figur 8.1: Det udvalgte analysenet, vejene markeret med gult afgrænset af Østre Allé-ringen. (Aalborg Kommune 2007)

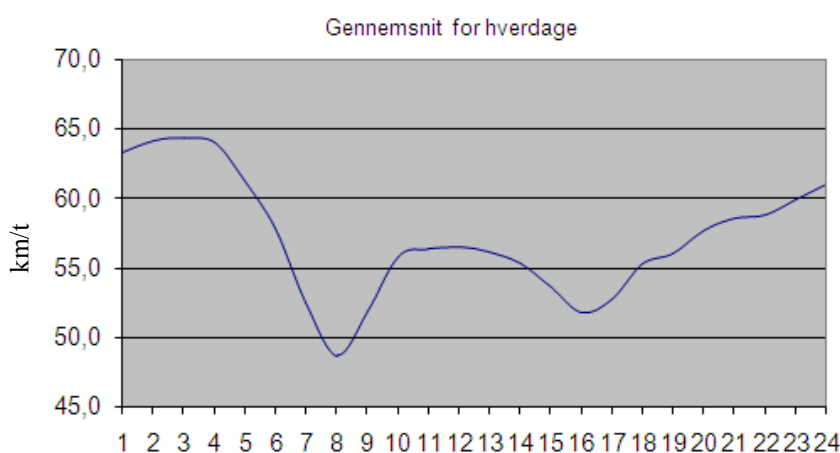
Grundet den begrænsede periode dette projekt er udført over samt den nuværende grad af automatisering af de benyttede metoder, er det ikke muligt at analysere samtlige kryds og strækninger på analysevejnettet, hvorfor der foretages en screening. Screeningen er en bred trængselsanalyse, der giver et indtryk af, hvor trængslen er størst. Derimod er det ikke muligt at frembringe specifikke resultater. Screeningen foretages i ArcGIS, hvor det indsamlede data benyttes til at afbilde de gennemsnitlige rejsehastigheder på de forskellige strækninger. Dette vises i forhold til den tilladte hastighed, hvorved

det fremgår i hvor høj en grad, det er muligt at rejse med en hastighed svarende til hastighedsgrænsen.

At hastighedsgrænsen benyttes som free-flow-hastighed indebærer en række ulemper. Dette gør sig primært gældende omkring kryds, idet de mulige hastigheder ved svingbevægelser sjældent er i niveau med hastighedsgrænsen, hvorved trængslen i kryds overvurderes. En anden svaghed ved denne analyse er, at det ikke umiddelbart er muligt at foretage en retningsfordeling på data. Disse forudsætninger understreger, at screeningen udelukkende kan benyttes til at danne et groft billede af trængslen på analysevejnettet.

I denne screening vises som eksempel trængselsniveauet i eftermiddagsspidsperioden på hverdage. Spidsperioden er bestemt ud fra Mastratællingerne fra Østre Allé, som omtales i kap. 7. Hastighedsniveauet over det gennemsnitlige hverdagsdøgn på Østre Allé fremgår af figur 8.2.

Figur 8.2: Timefordelt hastighedsniveau for hverdagsdøgn på Østre Allé.



Af figur 8.2 fremgår det, at eftermiddagsspidsperioden ligger fra den 15. til den 17. time, svarende til perioden fra 14.00 til 17.00. Det kunne også vælges at fokusere på den mest belastede time for eftermiddagen, men dette er ikke valgt, da datamængden herved vil blive mindsket. Således blev det i valideringen påvist, at spidstimen for GPS-målingerne ikke med sikkerhed falder i samme time som for Mastratællingerne. Derfor vil en bredere periode med større sikkerhed indeholde både den aktuelle og den målte spidstime.

På figur 8.3, fremgår trængselsniveauet på analysevejnettet, dog uden motorvej E45, i eftermiddagsspidsperioden. Til en geografisk afgrænsning af data er benyttet turudvælgelsesprogrammet, der samtidig tilføjer en ugedagsparameter ud fra den eksisterende dato-parameter. De viste data er for eftermiddagsperioden og udvalgt

som værende for hverdagene i analyseperioden.

**Grundet en fejl i programmet, er ugedagsparameteren fejlbehæftet, hvorfor figuren afbilder en situation, der er beregnet på baggrund af data fra alle ugedage.*

Figur 8.3: Trængselsgrad 14-17.



Det fremgår tydeligt af ovenstående figur, at trængselsgraderne er størst omkring krydsene. Dette er forventeligt, da en hastighed svarende til hastighedsgrænsen sjældent kan opnås i forbindelse med svingbevægelser. Herudover er der ikke foretaget nogen retningsfordeling. På baggrund af dette er det ikke muligt at drage mange konklusioner ud fra denne screening. En anden mulighed, der i stedet kan benyttes, er at fokusere på enkelte trafikstrømme. Således kan ovenstående analyse benyttes for data fra enkelte trafikstrømme eller ture, hvorved flaskehalse og kølængder kan identificeres og beskrives. På nedenstående figur 8.4 fremgår et eksempel på en sådan visualisering, hvor en beregnet free-flow-hastighed for hele strækningen danner baggrund for beregningen af trængselsgraden. Eksemplet viser den nordgående trafik på motorvej E45 syd for Limfjordstunnelen. Dette eksempel benyttes i kapitel 10, hvor anvendelsesmulighederne for projektets analysemetoder demonstreres.

Figur 8.4: Eksempel på illustration af trængselproblemer ved brug af GIS-værktøjer. Eksemplet er fra Motorvej E45, syd for Limfjordstunnelen.



9 Afprøvning af metoder

For at udvælge en metode til bestemmelse af free-flow-hastigheden i dette projekts analyser, vil de tidligere beskrevne metoder i dette afsnit blive afprøvet på henholdsvis ét kryds og én strækning. Herudover vil de aktuelle hastigheder samt resultaterne af trængselsopgørelser fra de analyserede strømme blive præsenteret på forskellig vis.

9.1 Bestemmelse af free-flow-hastigheder for en strækning

Til afprøvning af de forskellige metoder til free-flow-bestemmelse på en strækning analyseres et stykke af Østre Allé. Nærmere bestemt er strækningen mellem Hjulmagervejs underførelse og Håndværkervejs udmunding udvalgt, se figur 9.1.



Figur 9.1: Den analyserede strækning, Østre Allé mellem Hjulmagervejs underførelse og Håndværkervejs udmunding.



Turene mellem de to bokse er udvalgt som beskrevet i Kapitel 6. Følgende forskellige udtryk for free-flow-hastigheden vil nu blive præsenteret:

- Egne kørsler
- Hastighedsgrænsen
- Aktuel free-flow-hastighed
- Acceptabel free-flow-hastighed
- Aktuel free-flow hastighed korrigeret for signalpåvirkninger
- Acceptabel free-flow-hastighed korrigeret for signalpåvirkninger

Ovenstående seks udtryk for strækningens free-flow-hastighed er bestemt som beskrevet i kapitel 6. for strækningens to strømme; Øst-

Vest og Vest-Øst. For de fire nederste metoder er free-flow-perioden valgt som 20-06 og summeret over alle periodens dage. Resultaterne fremgår af figur 9.2.

Figur 9.2: Resultater af free-flow-bestemmelse med de forskellige metoder.

Egne kørsler (km/t)	Hastighedsgrænsen (km/t)		
Aktuel free-flow (km/t)	Acceptabel free-flow (km/t)		
Aktuel free-flow korrigeret for signalpåvirkninger (km/t)	Acceptabel free-flow korrigeret for signalpåvirkninger (km/t)		

		Vest	
		←	
		59,8	60,0
		58,0	56,1
		58,0	56,1

59,9	60,0		
57,5	56,2		
57,5	56,2		

		Øst	
			→

Som det kan ses af figur 9.2 ligger free-flow-hastighederne, bestemt ved brug af de forskellige metoder, relativt tæt op ad hinanden. Hastighedsgrænsen er over hele strækningen 60 km/t, ligesom der ikke forefindes hastighedsdæmpende foranstaltninger eller andet ved strækningens geometri, der forhindrer bilisterne i et hastighedsvalg omkring de tilladte 60 km/t i en situation uden trængsel.

I en sådan situation bør bestemmelsen med egne kørsler være lig hastighedsgrænsen eller meget tæt derpå, hvilket også er tilfældet, idet resultaterne viser 59,8 km/t og 59,9 km/t for de to strømme, se figur 9.2. Den høje grad af sammenhæng mellem disse to værdier skyldes metoden til bestemmelse af free-flow-hastighed ved egne kørsler, hvor hastighedsgrænsen vælges, når vejens geometri tillader det.

De aktuelle free-flow-hastigheder henholdsvis med og uden korrektion for signalpåvirkninger udtrykker den aktuelle gennemsnitlige rejsehastighed i de lavt belastede perioder. Korrektionen for signalpåvirkninger sorterer de ture fra, der indeholder én eller flere logninger med en hastighed på 0 km/t. Således giver værdien uden korrektion normalt den laveste hastighed af de to. Uden korrektion for signalpåvirkninger bestemmes free-flow-hastigheden i de to strømme til henholdsvis 58,0 km/t og 57,5 km/t. Værdierne med korrektion er i dette tilfælde de samme, idet der ikke er identificeret ture i free-flow-perioden med logninger på 0 km/t.

Slutteligt er den acceptable free-flow-hastighed, henholdsvis med og uden korrektion for signalpåvirkninger, bestemt. Disse værdier er bestemt efter samme metode som de aktuelle free-flow-hastigheder, dog med den forskel, at hastighedslogninger over hastighedsgrænsen er nedjusteret hertil. Disse to værdier er på henholdsvis 56,1 km/t

og 56,2 km/t, mens værdierne med korrektion også i dette tilfælde antager de samme værdier.

9.2 Bestemmelse af free-flow-hastigheder for et kryds

Til denne afprøvning af de forskellige metoder til bestemmelse af free-flow-hastigheden er krydset Østre Allé/Hobrovej/Kong Chr. Allé/Vesterbro udvalgt, se figur 9.3.



Dette kryds er valgt, da krydset forbinder Limfjordsbroen mod nord og City Syd i syd med Østre Allé ringen, som forbinder det østlige og vestlige Aalborg. Herudover fremgår krydset som et af de mest trængselsplagede i screeningen på figur 8.2 i kapitel 8.

I et almindeligt firebenet kryds vil der være 12 separate strømme, idet det fra hvert af de fire ben er muligt at lave tre forskellige svingbevægelser. For disse 12 strømme foregår bestemmelserne analogt til bestemmelsen for strømmene på en strækning.

Affigur 9.3 ses markeret, hvorledes boksene til brug for dataudvælgelsen er definerede. Figur 9.4 viser de bestemte free-flow-hastigheder ved brug af de førnævnte metoder, med undtagelse af hastighedsgrænsen, da denne ikke vil give mening for krydsets svingbevægelser.

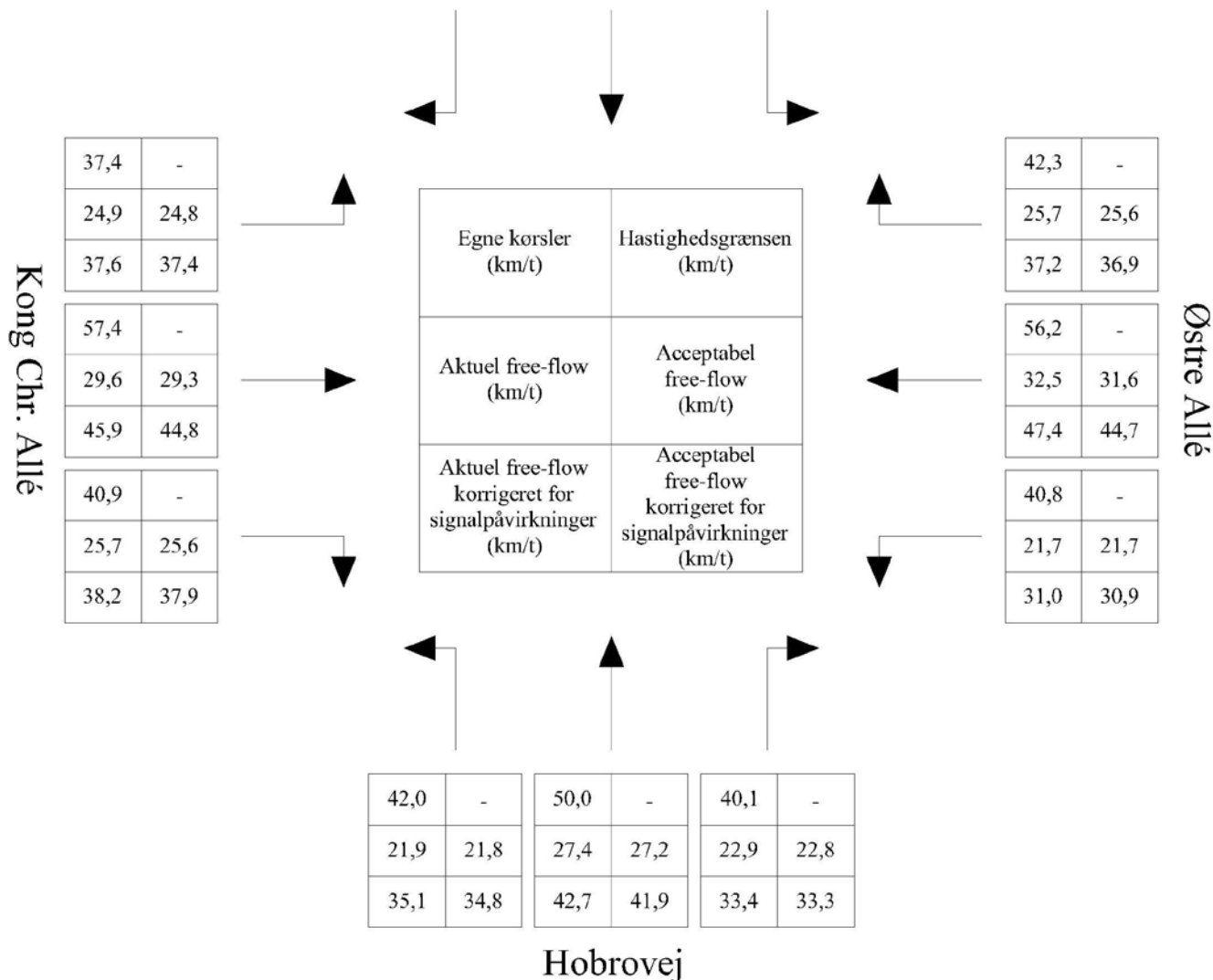
I modsætning til free-flow-hastighederne for strækningen er der relativt stor spredning på free-flow-hastighederne for det analyserede kryds.

Figur 9.3: Det analyserede kryds, Østre Allé/Hobrovej/Kong Chr. Allé/Vesterbro.



Vesterbro

37,2	-	49,9	-	43,7	-
24,1	24,0	25,2	25,0	24,5	24,4
31,5	31,3	40,0	39,4	36,4	36,3



Figur 9.4: Resultater af free-flow-bestemmelse med de forskellige metoder.

Resultaterne opnået ved egne kørsler under kontrollerede free-flow-betingelser giver de højeste hastigheder, mens de aktuelle og acceptable free-flow-hastigheder uden korrektion giver de laveste værdier.

Værdierne for egne kørsler ligger for de ligeudgående strømme omkring hastighedsgrænserne, der er 60 km/t på Østre Allé og 50 km/t på de øvrige ben. For de øvrige strømme ligger hastighederne i intervallet 37-44 km/t.

Til sammenligning ligger hastighederne for de aktuelle og accepta-

ble free-flow-hastigheder uden korrektion i intervallet 25-33 km/t for de ligeudgående strømme, mens de øvrige strømme opnår resultater i intervallet 21-26 km/t.

Imellem de to yderpunkter ligger resultaterne for de aktuelle og acceptable free-flow-hastigheder med korrektion for signalpåvirkninger. Her ligger værdierne for de ligeudgående strømme i intervallet 39-48 km/t, mens resultaterne for de øvrige strømme ligger i intervallet 30-39 km/t.

9.3 Valg af free-flow-metode

Kun ved brug af egne kørsler som metode til bestemmelse af free-flow-hastigheden er der vished for overholdelse af free-flow-betingelserne. Derfor må denne foretrækkes, hvis der kun fokuseres på kvaliteten af resultaterne. Til gengæld er det den mest ressourcekrævende metode.

På strækninger ligner hastighedsgrænsen et godt alternativ, og denne kræver så godt som ingen ressourcer i forhold til at foretage egne kørsler. Denne er dog kun retvisende på strækninger uden hastighedsdæmpende foranstaltninger, skarpe sving samt øvrige omstændigheder ved vejens geometri, der forhindrer bilisten i at køre med den tilladte hastighed.

Omstændigheder som disse tages der højde for ved brug af den aktuelle/acceptable free-flow-hastighed, hvorfor denne vil være et mere universelt brugbart alternativ. Benyttes den aktuelle/acceptable free-flow-hastighed med korrektion for signalpåvirkninger, kan situationer, hvor bilisten har holdt for rødt eller gjort et kort stop, frasorteres. Dermed vil denne metode være et fornuftigt alternativ til egne kørsler, der samtidig ikke er ressourcekrævende.

Hastighedsgrænsen er ikke aktuel i kryds, da denne sjældent er mulig at opnå gennem krydsets svingbevægelser. Også i kryds er free-flow-bestemmelse ved brug af egne kørsler kvalitetsmæssigt at foretrække, men her er ressourcekravene endnu mere udtalte, grundet de mange forskellige strømme, der tilsammen udgør krydsets trafik.

De aktuelle/acceptable free-flow-hastigheder afviger med knap 50 % fra værdierne bestemt ved egne kørsler, når der ikke korrigeres for signalpåvirkninger. Derfor vil de aktuelle/acceptable free-flow-hastigheder med korrektion for signalpåvirkninger også her udgøre det bedste alternativ til egne kørsler, mens der ikke stilles krav til yderli-

gere dataindsamling. Afvigelserne ligger for disse typisk på 5-10 km/t i forhold til resultaterne ved egne kørsler.

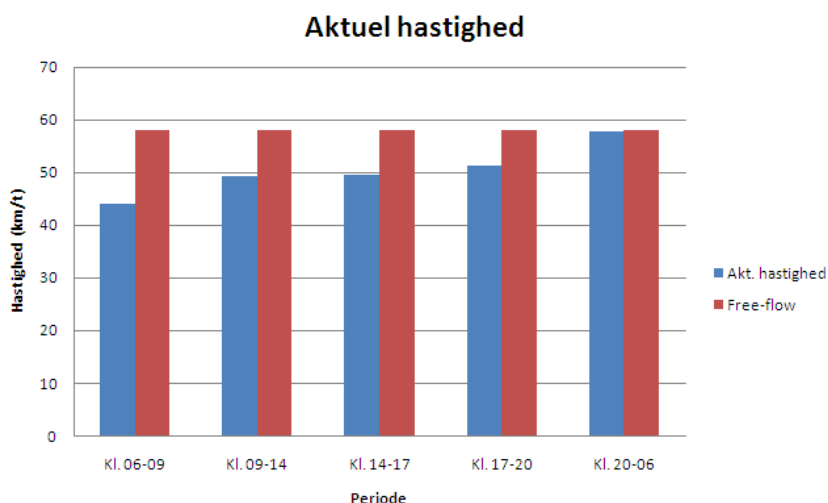
Det vælges i projektets øvrige analyser, at benytte de aktuelle/acceptable free-flow-hastigheder korrigeret for signalpåvirkninger som generel metode til free-flow-bestemmelse. Dette valg er truffet, da der er lagt vægt på, at metoden kan bruges universelt både på strækninger og i kryds. Herudover er det også fundet nyttigt, at der kan opnås værdier relativt tæt på de værdier, der findes ved egne kørsler, samtidig med at metoden kræver et minimum af ressourcer.

Der er dog nogen afvigelse i forhold til egne kørsler, mens en yderligere svaghed findes ved svage trafikstrømme, hvor det kan risikeres, at der ikke er registreret ture i free-flow-perioderne. I disse tilfælde kan hastighedsgrænsen benyttes som et alternativ på strækninger. I kryds kan der anvendes et sæt af standardværdier, baseret på egne kørsler, under hensyntagen til hastighedsgrænserne på de strækninger svingbevægelserne foretages fra og til samt de accelerationer og decelerationer disse vil medføre.

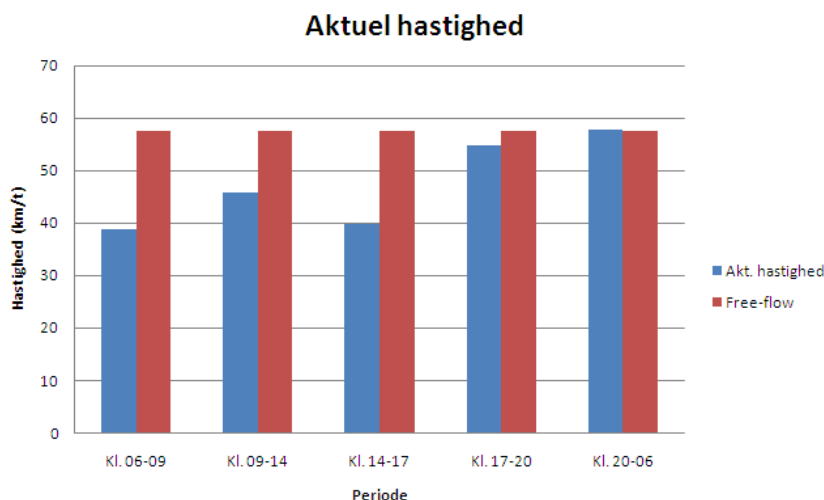
9.4 Bestemmelse af aktuelle hastigheder

De fundne gennemsnitshastigheder for teststrækningens strømme kan af figur 9.5 og 9.6 ses i forhold til free-flow-hastigheden. De aktuelle hastigheder bestemmes som gennemsnittet af de udvalgte tures logninger summeret over de forskellige perioder, data er opdelt i.

Figur 9.5: Aktuelle hastigheder for hverdagsdøgnets perioder for strømmen Øst-Vest på teststrækningen.



De beregnede værdier for de to strømme kan ses af tabel 9.1, der også viser antallet af ture samt unikke ID'er, de enkelte hastigheder er bestemt ud fra.



Figur 9.6: Aktuelle hastigheder for hverdagsdøgnets perioder for strømmen Vest-Øst på teststrækningen.

Periode	Akt. hastighed (km/t)	Ture	Unikke ID'er	Akt. hastighed (km/t)	Ture	Unikke ID'er
	Øst-Vest			Vest-Øst		
Kl. 06-09	44,0	157	20	38,6	313	20
Kl. 09-14	49,1	158	33	45,8	164	33
Kl. 14-17	49,4	357	33	39,8	212	38
Kl. 17-20	51,2	146	32	54,7	140	34
Kl. 20-06	57,6	96	20	57,7	173	30

Tabel 9.1: Aktuelle rejsehastigheder over hverdagsdøgnets for de to strømme på det udvalgte stykke af Østre Allé, samt antallet af ture og unikke ID'er der er bestemt ud fra.

Denne bestemmelse af aktuelle hastigheder foregår analogt for samtlige af testkrydsets 12 strømme. De registrerede hastigheder samt sikkerheden, hvormed disse er bestemt, kan ses af tabel 9.2.

9.5 Resultater af trængelsanalyser

I dette afsnit vises eksempler på, hvordan resultaterne af de udførte trængelsanalyser kan præsenteres. Af figur 9.5 og 9.6 fremgår en grafisk fremstilling af to strømme aktuelle hastigheder i forhold til free-flow-hastigheden for de respektive strømme. Disse er i sig selv et udtryk for trængslen, idet de aktuelle situationer sammenlignes med situationen uden trængsel. Herudover kan trængsel opgøres på to deciderede trængselsparametre, der basalt set viser det samme, eller rettere det modsatte, idet parametrene flowrate og trængselsgrad er hinandens reciprokke:

- Flowraten for en trafikstrøm på et givet tidspunkt udtrykker den aktuelle hastighed i forhold til den ideelle hastighed, free-flow-hastigheden. En flowrate på 0 udtrykker således trafikalt sammenbrud, mens en flowrate på 1 afspejler en situation helt uden trængsel.

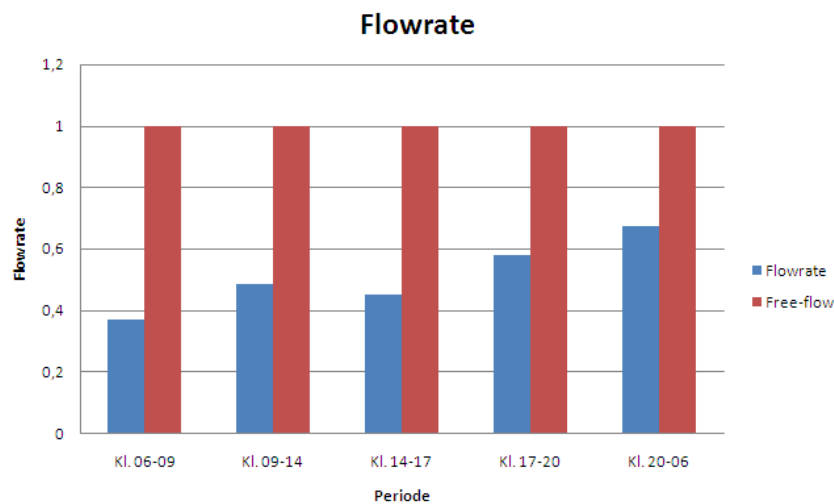
Periode	Akt. hastighed (km/t)	Ture	Unikke ID'er	Akt. hastighed (km/t)	Ture	Unikke ID'er	Akt. hastighed (km/t)	Ture	Unikke ID'er
	Nord-Øst			Nord-Syd			Nord-Vest		
Kl. 06-09	11,8	12	10	18,4	62	14	11,7	1	1
Kl. 09-14	13,0	57	24	16,7	140	37	-	-	-
Kl. 14-17	11,0	55	19	15,0	177	32	11,4	3	3
Kl. 17-20	14,5	30	13	18,5	143	27	19,0	1	1
Kl. 20-06	23,6	103	19	24,2	63	23	24,1	7	3
	Vest-Nord			Vest-Øst			Vest-Syd		
Kl. 06-09	-	-	-	17,5	222	9	16,6	92	10
Kl. 09-14	19,8	2	2	21,9	64	14	20,0	35	9
Kl. 14-17	10,9	3	3	15,9	93	18	17,9	53	14
Kl. 17-20	21,5	4	3	23,6	78	17	18,6	37	11
Kl. 20-06	24,9	5	2	30,8	56	15	26,0	30	8
	Øst-Syd			Øst-Vest			Øst-Nord		
Kl. 06-09	11,5	33	4	24,0	31	9	24,4	76	11
Kl. 09-14	15,0	40	17	27,3	67	19	26,9	35	14
Kl. 14-17	14,0	83	22	20,3	227	20	24,2	25	11
Kl. 17-20	18,0	37	17	26,1	101	18	22,4	21	13
Kl. 20-06	20,8	37	17	32,3	72	11	25,3	24	11
	Syd-Vest			Syd-Nord			Syd-Øst		
Kl. 06-09	13,4	12	5	16,4	86	21	11,8	49	7
Kl. 09-14	15,9	38	6	17,2	93	27	14,9	38	16
Kl. 14-17	11,4	50	12	16,5	100	30	10,7	53	21
Kl. 17-20	16,8	65	11	19,2	135	29	19,1	54	18
Kl. 20-06	21,5	77	6	27,1	165	20	22,2	28	15

Tabel 9.2: Aktuelle rejsehastigheder over hverdagsdøgnet for testkrydsets strømme samt antallet af ture og unikke ID'er de er bestemt ud fra.

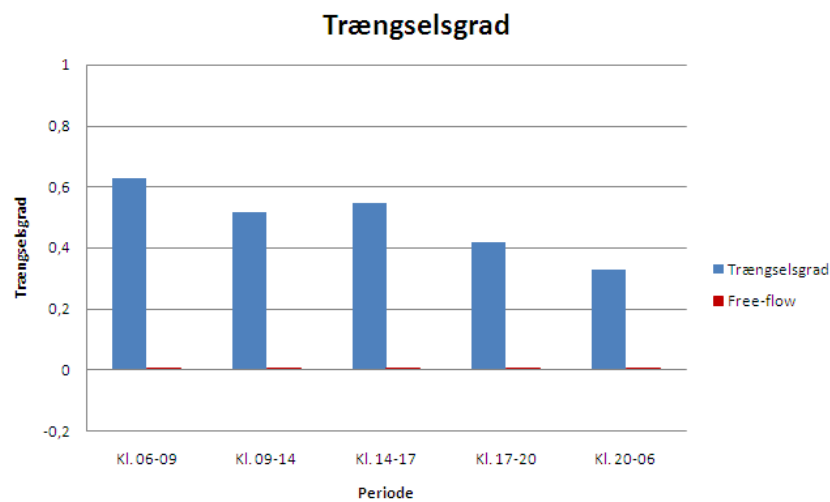
- Trængselsgraden for en trafikstrøm på et givet tidspunkt udtrykker hastighedsnedsættelsen i forhold til free-flow-hastigheden. En trængselsgrad på 0 vil således udtrykke en free-flow-situation, mens en trængselsgrad på 1 er udtryk for trafikalt sammenbrud.

Af figur 9.7 og 9.8 ses eksempler på henholdsvis flowraten og trængselsgraden for én af testkrydsets strømme, strømmen Øst-Syd.

Som det fremgår af de tidligere beskrevne definitioner samt af figur 9.7 og 9.8 udtrykker de to parametre det samme på to forskellige måder. Det vælges fremover i denne rapport at benytte trængselsgraden som parameter i de udførte analyser, da denne er et direkte udtryk for trængslen. Således udtrykkes trængslen som en værdi mellem 0 og 1, hvor en højere værdi er lig en højere grad af trængsel.



Figur 9.7: Flowrate for de forskellige perioder over hverdagsdøgnen for strømmen Øst-Syd i testkrydset.



Figur 9.8: Trængselsgrad for de forskellige perioder over hverdagsdøgnen for strømmen Øst-Syd i testkrydset.

Dette er vurderet af være den mest direkte og fortællende faktor. I teorien kan trængselsgraden antage en negativ værdi i det tilfælde, hvor den aktuelle hastighed er højere end free-flow-hastigheden, der sammenlignes med. Som et eksempel på en graduering af trængselsgraden kan nævnes følgende opdeling fra Projekt Trængsel (Trafikministeriet 2004):

- Ubetydelig eller begyndende trængsel: < 0,2
- Stor trængsel: 0,2-0,6
- Kritisk trængsel: 0,6-1,0

Ved brug af denne inddeling er det nødvendigt at være opmærksom på, at der i Projekt Trængsel bestemmes free-flow-hastigheder som gennemsnit af hastighederne i de lavt belastede perioder, uden nogen form for korrektion. Således vil disse free-flow-hastigheder typisk være lavere end dem der beregnes i dette projekt, hvorfor en direkte overførelse af ovennævnte vil kategorisere flere situationer som havende stor og kritisk trængsel.

Af figur 9.9 ses en oversigt over trængselsgraden i testkrydsets 12 strømme i henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidsbelastningsperioderne. Herudover ses den aktuelle free-flow-hastighed korrigeret for signalpåvirkninger, som beregningerne er baseret på. Til højre for de enkelte værdier ses en sikkerhedsangivelse, der viser antallet af ture, de enkelte værdier er baseret på samt antallet af unikke ID'er blandt disse.

Figur 9.9: Trængselsgrad for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidsperioden for testkrydset.

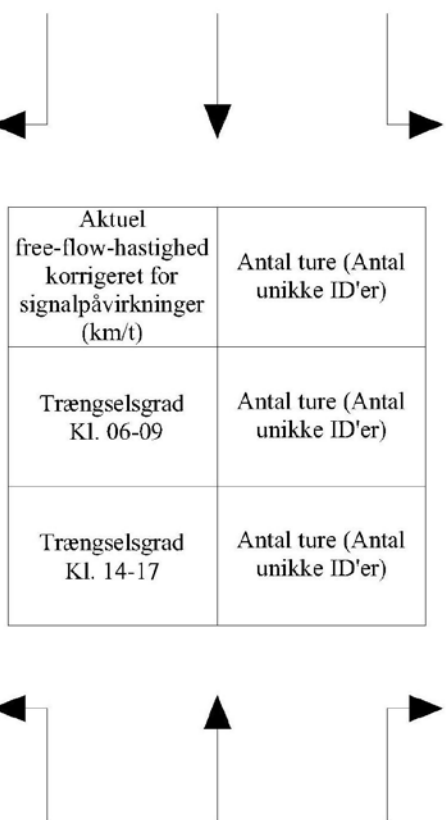
Af figuren ses, at spidsbelastningsperioden om eftermiddagen i syv ud af 11 strømme, hvor der haves registreringer i begge perioder, opnår den højeste trængselsgrad.

Vesterbro

31,5	5(2)	40,0	45(21)	36,4	60(12)
0,63	1(1)	0,54	62(14)	0,67	12(10)
0,64	3(3)	0,63	177(32)	0,70	55(19)

Kong Chr. Allé

37,6	4(1)
%	%
0,71	3(3)
45,9	43(12)
0,62	222(9)
0,65	93(18)
38,2	19(6)
0,56	92(10)
0,53	53(14)



Aktuel free-flow-hastighed korrigeret for signalpåvirkninger (km/t)	Antal ture (Antal unikke ID'er)
Trængselsgrad Kl. 06-09	Antal ture (Antal unikke ID'er)
Trængselsgrad Kl. 14-17	Antal ture (Antal unikke ID'er)

Østre Allé

37,2	22(12)
0,66	76(11)
0,65	25(11)
47,4	52(11)
0,49	31(9)
0,57	227(20)
31,0	25(11)
0,63	33(4)
0,55	83(22)

Hobrovei

35,1	40(7)	42,7	104(17)	33,4	23(14)
0,62	12(5)	0,62	86(21)	0,65	49(7)
0,67	50(12)	0,61	100(30)	0,68	53(21)

Den maksimale trængselsgrad for eftermiddagsperioden er for Vest-Nord-strømmen, som dog kun er baseret på tre ture. Denne har en trængselsgrad på 0,71, mens strømmen Nord-Øst opnår en trængselsgrad på 0,70 baseret på 55 ture med 19 unikke ID'er.

I morgenperioden opnår Nord-Øst-strømmen den højeste trængselsgrad, på 0,67, mens den modsatte strøm Øst-Nord har en trængselsgrad på 0,66 for morgenperioden.

10 Anvendelsesmuligheder

I dette kapitel præsenteres indledningsvist to konkrete eksempler på anvendelse af de beskrevne metoder. Disse udgøres af strækningsanalyser på henholdsvis Vesterbro og Motorvej E45. Efterfølgende beskrives det, hvordan de bestemte trængselsgrader kan skaleres op til henholdsvis et helt kryds eller en hel strækning, samt hvordan der herefter kan skaleres op til et helt vejnet.

10.1 Eksempel: Vesterbro

Som eksempel på anvendelsen af metoderne beskrevet i de foregående kapitler, er der foretaget en trængselsanalyse for en del af Vesterbro. Af figur 10.1 ses den analyserede strækning. Vesterbro er en vital del af den fjordkrydsende trafik i kraft af den direkte sammenhæng med Limfjordsbroen, hvorfor det er særdeles relevant at undersøge omfanget af trængslen herpå.

Som følge af boksenes placering, se figur 10.1, er analysen udført for de gennemkørende ture på strækningen. Alternativt kunne en tilsvarende analyse for den samme strækning have været udført ved at udføre en række delanalyser for alle rutens indeholdte strømme. Disse ville bestå af strækningernes strømme i begge retninger samt nord-syd- og syd-nord-strømmene i krydsene på Vesterbro. Denne metode ville medføre et større datagrundlag for analysen, men er i dette tilfælde fravalgt grundet metodernes nuværende grad af automatisering, hvorved en sådan analyse ville være meget ressourcekrævende.

Free-flow-hastigheden, samt de aktuelle trængselsgrader for spidsbelastningsperioderne kan ses af figur 10.2

Figur 10.1: Den analyserede strækning, Vesterbro fra krydset ved Østre Allé til Limfjordsbroen.



Aktuel free-flow-hastighed korrigeret for signalpåvirkninger (km/t)	Antal ture (Antal unikke ID'er)
Trængselsgrad Kl. 06-09	Antal ture (Antal unikke ID'er)
Trængselsgrad Kl. 14-17	Antal ture (Antal unikke ID'er)

40,4	9(8)
0,49	17(11)
0,48	68(18)

↓ Syd

45,9	7(3)
0,32	110(17)
0,78	31(19)

↑ Nord

Figur 10.2: Free-flow-hastighed samt trængselsgrader for spidsbelastningsperioderne.

Som det fremgår af figur 10.2, er trængslen størst i den nordgående retning i eftermiddagsspidsbelastningsperioden. Her haves en trængselsgrad på 0,78, mens den i samme retning i morgenspidsbelastningsperioden er lavest med en trængselsgrad på 0,32. Trængselsgraderne i sydgående retning ligger på henholdsvis 0,48 og 0,49 i de to spidsbelastningsperioder.

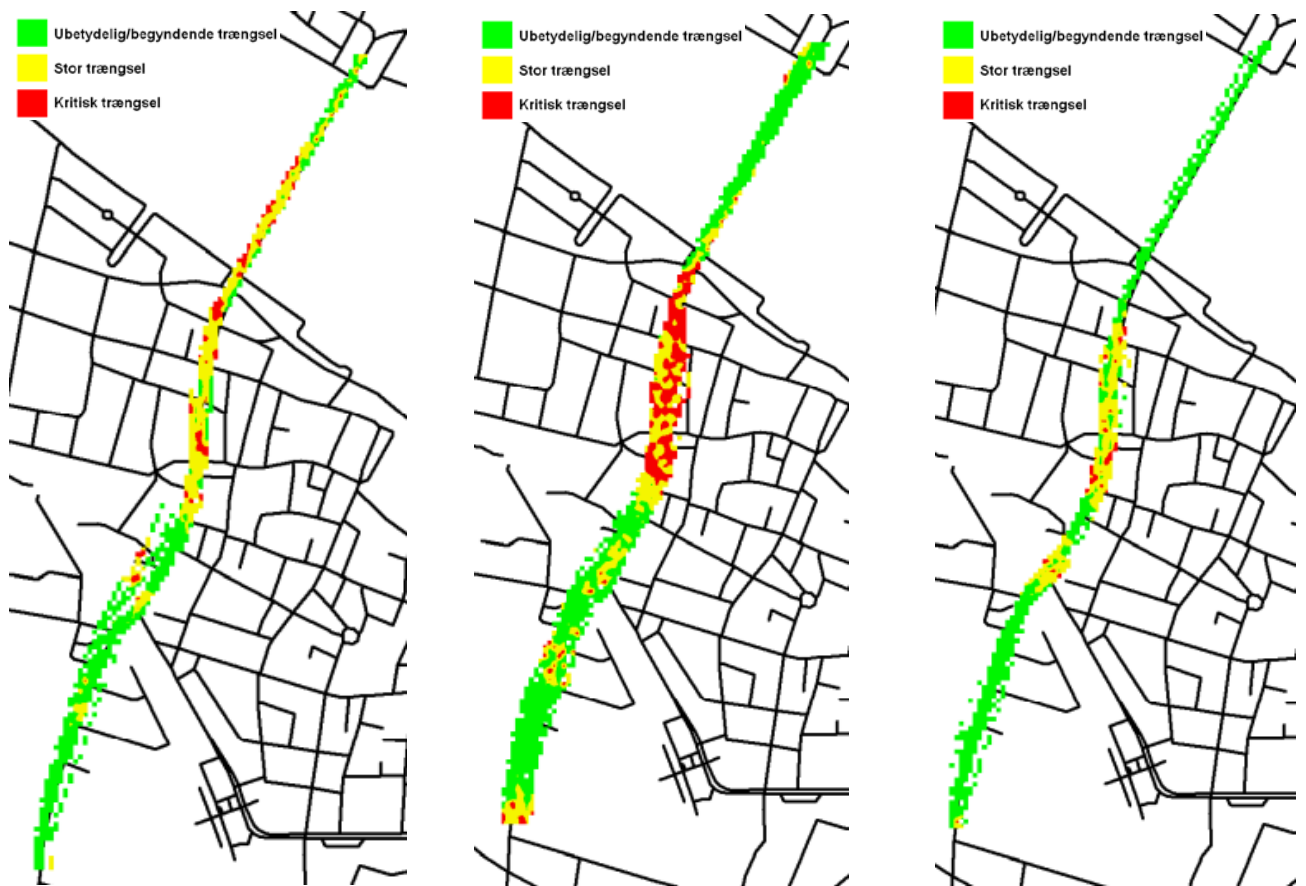
At den største trængselsgrad opnås i nordgående retning i eftermiddagsspidsbelastningsperioden er ikke overraskende, da trafikken i denne periode er stærkt præget af bolig-arbejds-trafikken, der i høj grad er rettet mod de større byer om morgenen og ud af byerne om eftermiddagen. Det kunne måske derved have været forventet, at den sydgående retning i morgenspidsbelastningsperioden ville være betydeligt mere belastet end i eftermiddagsperioden. Dette er imidlertid ikke tilfældet, da de to belastningsgrader er på henholdsvis 0,49 og 0,48. Forklaringen på dette kan være, at flaskehalsen for den sydgående del af den fjordkrydsende trafik er placeret før Limfjordsbroen, primært på Thistedvej-Vestergade, hvorved trafikken på Limfjordsbroen og Vesterbro kan flyde relativt pænt.

Af figur 10.3 ses en visualisering af den foretagne trængselsanalyse for Vesterbros Nord-Syd-retning. Denne er udført i programmet ArcGIS, som beskrevet i kapitel 8 og viser trængselsgraden, gradueret på tre niveauer.

Af de to første billeder på figur 10.3 ses trængselsbilledet for Nord-Syd-retningen i spidsbelastningsperioderne visualiseret. På trods af, at trængselsgraderne for de to perioder ligger meget tæt op ad hinanden, viser billederne betydelige forskelle. I perioden 06-09 ses det, at trængslen i høj grad er spredt ud, dog med en koncentration omkring broens sydlige begyndelse. I perioden 14-17 er denne koncentrationen betydeligt kraftigere, mens trængslen på den resterende strækning er begrænset. Det tredje billede viser perioden 20-06, hvor der vurderes at være størst sandsynlighed for free-flow-situationer. Billedet viser da også kun en begrænset grad af trængsel op mod broens sydlige begyndelse.

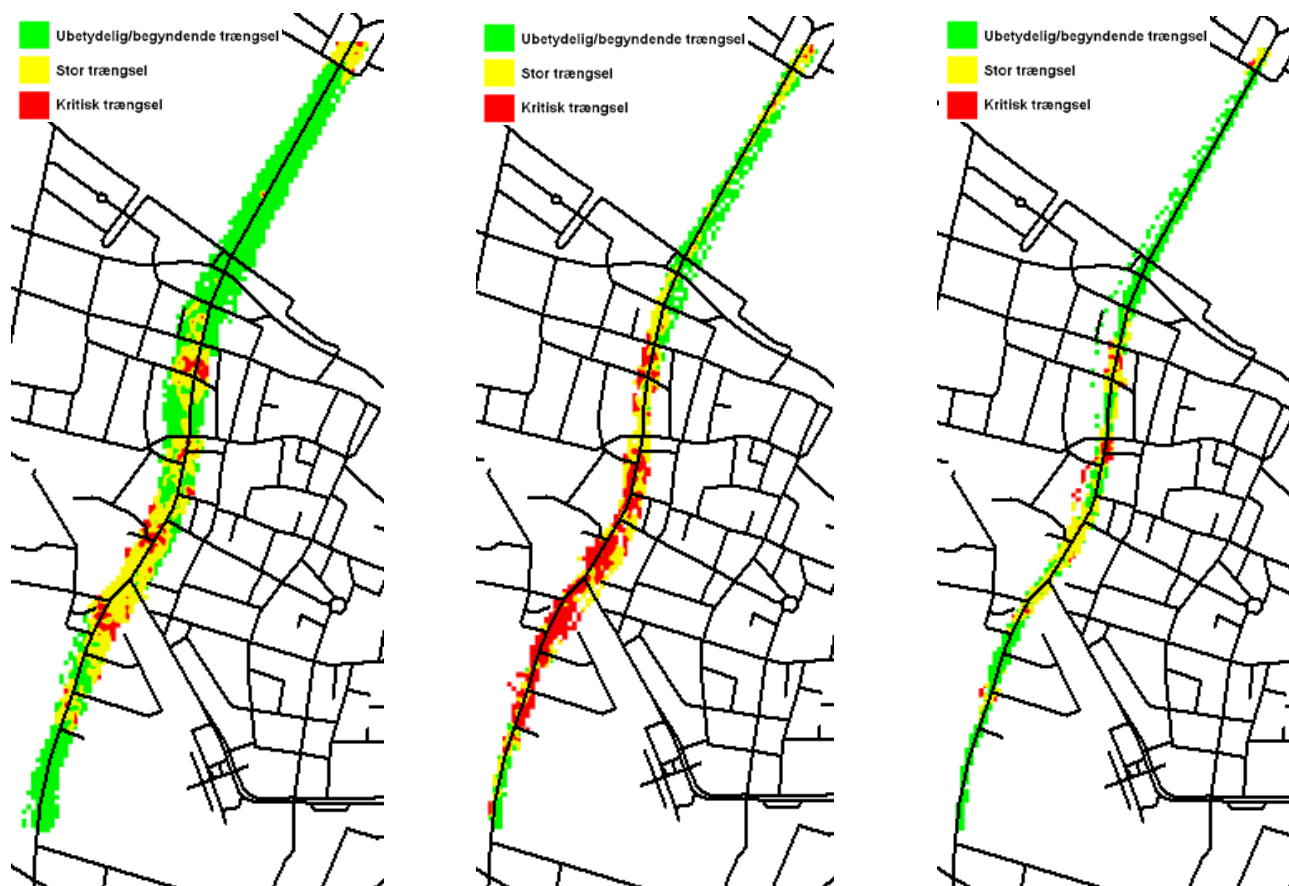
Figur 10.4 viser en tilsvarende visualisering af Vesterbros Syd-Nord-retning.

Figur 10.4 viser betydelige forskelle mellem de to spidsbelastningsperioder, hvilket stemmer godt overens med de beregnede trængselsgrader. Således ses det tydeligt af det midterste billede, at perio-



den 14-17 er kraftigt belastet af trængsel, mens der i perioden 06-09 hovedsageligt har været registreret moderate trængselsgrader. Udover dette viser de tre billeder, at det er de samme områder, der er mest trængselsbelastede i denne retning, dog i forskellig grad for de tre perioder.

Figur 10.3: Trængselsgrad i Nord-Syd-retningen på Vesterbro for perioderne 06-09, 14-17 og 20-06 illustreret på GIS-kort.



Figur 10.4 Trængselsgrad i Syd-Nordretningen på Vesterbro for perioderne 06-09, 14-17 og 20-06 illustreret på GIS-kort.

10.2 Eksempel: Motorvej E45

Som et yderligere eksempel på anvendelse af de beskrevne metoder, er udvalgt en del af den anden fjordkrydsende forbindelse, Limfjordstunnelen. Det er valgt udelukkende at fokusere på Syd-Nordretningen, idet denne er den mest skrøbelige overfor hændelser, der påvirker trafikken. Således opstår der ofte en flaskehals nord for tunnelen, hvor de ligeudgående spor indsnævres fra tre til to.

Figur 10.5 viser placeringen af boksene til brug for dataudtræk for den foretagne analyse.

På samme måde som for Vesterbro er den analyserede strækning i dette tilfælde sammensat af flere delstrækninger. De analyserede ture er ligeledes i dette tilfælde udelukkende de gennemkørende, hvilket er valgt af samme hensyn som nævnt ovenfor.

Af figur 10.6 ses de bestemte trængselgrader for de to spidsbelastningsperioder samt den benyttede free-flow-hastighed.

Som det fremgår af figur 10.6 er trængslen størst i eftermiddags-spidsbelastningsperioden. Her opnås en trængselgrad på 0,49, mens den for morgenspidsbelastningsperioden blot er 0,02. Der er således

stor forskel på belastningsgraden i de to perioder, hvilket også var forventeligt. Således må en stor del af trafikken i eftermiddagsspidsbelastningsperioden, som tidligere omtalt, forventes at bestå af bolig-arbejds-trafik, der generelt er rettet ud af byen om eftermiddagen og ind mod byen om morgenen.

På figur 10.7 ses trængselsopgørelserne for perioderne 06-09, 14-17 og 20-06 illustreret ved brug af GIS-værktøjer for Motorvej E45's nordgående strøm.

Disse illustrerer tydeligt, at der i morgenspidsbelastningsperioden er så godt som ingen trængsel, hvilket afspejler den beregnede trængselsgrad på 0,02 for denne periode.

For perioden 14-17 kan der ses nogen grad af trængsel. Der kan ses en stor variation i trængselgrad henover strækningens tværprofil. Dette kunne indikere, at der er stor forskel på graden af trængsel mellem Motorvejens tre spor på denne delstrækning.

Forskelle så store som kortet antyder, kan muligvis forklares ved den indskrænkning i antallet af kørespor, der blev omtalt indledningsvist i dette afsnit. Denne finder først sted nord for tunnelen, men hovedparten af trafikanterne må antages at være stedkendte, idet der i overvejende grad er tale om bolig-arbejds-trafik. Således vælger mange bilister spor lang tid i forvejen for at undgå flettemanøvrer. Dette vil medføre den største belastning af det venstre spor og den mindste belastning af det højre spor, hvilket kan være forklaringen på de tendenser, der antydes på figur 10.7. Når disse trængselsgrader udjævner hinanden resulterer de i trængselsgraden på 0,49, som kan ses af figur 10.6.

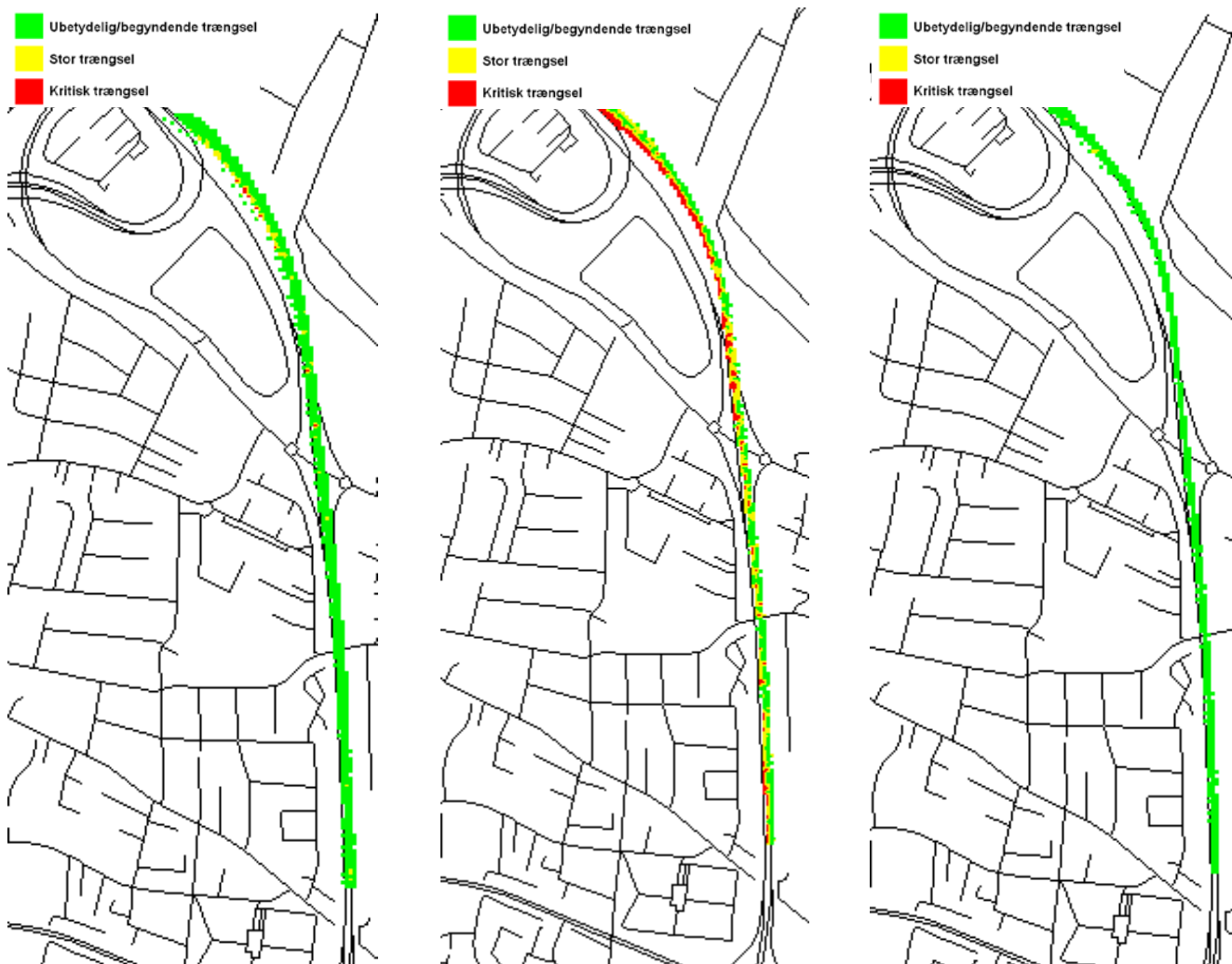
Aktuel free-flow-hastighed korrigeret for signalpåvirkninger (km/t)	Antal ture (Antal unikke ID'er)
Trængselsgrad Kl. 06-09	Antal ture (Antal unikke ID'er)
Trængselsgrad Kl. 14-17	Antal ture (Antal unikke ID'er)

▲ Nord	87,9	155(68)
	0,02	636(27)
	0,49	171(42)

Figur 10.5: Oversigt over den analyse-rede strækning, Motorvej E45 mellem afkørslen ved Humlebakken og Tunnelens sydside.



Figur 10.6: Free-flow-hastighed samt trængselsgrader for spidsbelastningsperioderne.



Figur 10.7: Trængselsgrad i Syd-Nordretningen på Motorvej E45 for perioderne 06-09, 14-17 og 20-06 illustreret på GIS-kort.

10.3 Opskalering af trængsel for en strækning eller et kryds

De præsenterede analyser af henholdsvis strækninger og kryds bestemmer, vha. gennemsnitlige rejsehastigheder i forskellige perioder, trængselsgraden for de forskellige strømme, baseret på det udsnit af den samlede trafik, de registrerede ture repræsenterer. Ud fra den gennemsnitlige rejsehastighed for strømmene og den tilbagelagte distance, den givne strøm repræsenterer, kan den gennemsnitlige forsinkelse for de registrerede ture beregnes.

Kendes trafikmængderne for de analyserede strømme inden for en periode, kan den gennemsnitlige forsinkelse opskaleres for den samlede trafikmængde, idet det antages, at de ture den gennemsnitlige forsinkelse er beregnet ud fra, er repræsentative for den samlede trafikmængde i perioden.

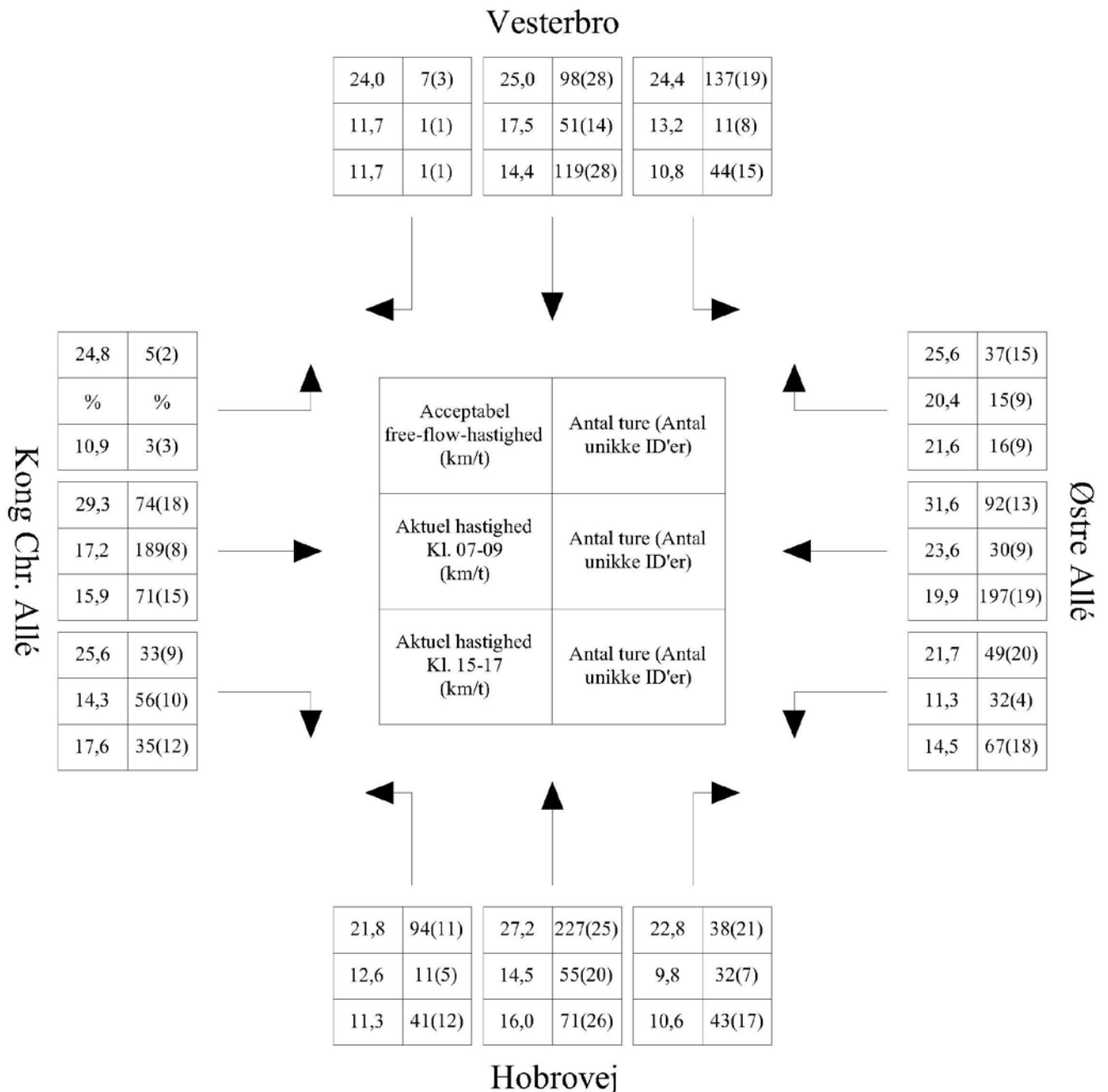
Ved anvendelse af samfundsøkonomiske enhedspriser kan de beregnede forsinkelser prissættes, hvorved samfundets omkostninger ved den registrerede trængsel i den pågældende periode kan estimeres. I de følgende afsnit vil et eksempel på en sådan opskalering og pris-

sætning blive gennemgået for krydset Østre Allé/Hobrovej/Kong Chr. Allé/Vesterbro.

Gennemsnitlige rejsehastigheder og forsinkelser

De gennemsnitlige rejsehastigheder skal opgøres over de perioder, der haves trafikmængder for. Idet en trafiktælling for krydset, udført af Aalborg Kommune, er foretaget en hverdag i perioderne 07-09 og 15-17, må de gennemsnitlige rejsehastigheder også opgøres for disse perioder af hverdagsdøgnet. Således viser figur 10.8 de aktuelle rejsehastigheder for disse perioder, free-flow-hastigheden, der sammenlignes med samt en angivelse af hvor mange ture henholdsvis unikke ID'er, der ligger til grund for de enkelte bestemmelser.

Figur 10.8: Den benyttede free-flow-hastighed samt de aktuelle hastigheder for spidsbelastningsperioderne.



Ud fra værdierne, der fremgår af figur 10.8, samt den tilbagelagte distance for de enkelte strømme, er de gennemsnitlige tidsforbrug bestemt for de enkelte strømme i de forskellige perioder. Det gennemsnitlige tidsforbrug ved gennemkørsel af en given strøm er givet som den tilbagelagte distance divideret med den gennemsnitlige rejsehastighed. Således er den gennemsnitlige forsinkelse for en periode givet som forskellen mellem tidsforbruget i free-flow-situationen og tidsforbruget i den aktuelle periode. De beregnede forsinkelser for de respektive strømme i de to spidsbelastningsperioder kan ses af tabel 10.1.

Tabel 10.1: Gennemsnitlige forsinkelser for de forskellige strømme for hverdage.

Periode	Forsinkelse (s)		
	Nord-Øst (V)	Nord-Syd (L)	Nord-Vest (H)
Kl. 07-09	28	14	35
Kl. 15-17	41	23	35
	Vest-Nord (V)	Vest-Øst (L)	Vest-Syd (H)
Kl. 07-09	-	15	28
Kl. 15-17	41	19	18
	Øst-Syd (V)	Øst-Vest (L)	Øst-Nord (H)
Kl. 07-09	34	8	8
Kl. 15-17	18	15	6
	Syd-Vest (V)	Syd-Nord (L)	Syd-Øst (H)
Kl. 07-09	27	26	46
Kl. 15-17	34	20	40

Opskalering

Da de registrerede ture ikke udgør den samlede trafikmængde i den pågældende strøm, er det nødvendigt at have trafiktællinger til rådighed for, at opgøre den samlede forsinkelse i de enkelte strømme og dermed den samlede forsinkelse i krydset.

Den tilgængelige tælling for dette kryds er, som tidligere nævnt, udført en hverdag i perioderne 07-09 og 15-17. Således vil det kun være muligt at opgøre den samlede forsinkelse for disse perioder, da retningsfordelingerne og trafikmængderne kan variere meget over dagen, hvorfor det ikke med rimelighed kan antages, at de tilgængelige tællinger er repræsentative for hele døgnet.

Af tabel 10.2 ses de talte trafikmængder for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidsbelastningsperioden.

Ved brug af de enkelte strømmes trafikmængder i tabel 10.2 kan de beregnede gennemsnitlige forsinkelser, som fremgår af tabel 10.1,

Periode	Trafikmængde (Personbilenheder)		
	Nord-Øst (V)	Nord-Syd (L)	Nord-Vest (H)
Kl. 07-09	169	625	29
Kl. 15-17	223	698	88
	Vest-Nord (V)	Vest-Øst (L)	Vest-Syd (H)
Kl. 07-09	33	376	200
Kl. 15-17	20	347	260
	Øst-Syd (V)	Øst-Vest (L)	Øst-Nord (H)
Kl. 07-09	370	370	221
Kl. 15-17	313	459	127
	Syd-Vest (V)	Syd-Nord (L)	Syd-Øst (H)
Kl. 07-09	244	662	351
Kl. 15-17	310	563	454

opskaleres til de samlede trafikmængder i de respektive spidsbelastningsperioder. Den samlede forsinkelse for de enkelte strømme er givet som produktet af den gennemsnitlige forsinkelse pr. passage og antallet af passager. Således opnås de samlede forsinkelser for de enkelte strømme, som fremgår af tabel 10.3.

Tabel 10.2: Talte trafikmængder i spidsbelastningsperioderne fra Aalborg Kommunes trafiktælling, foretaget på en hverdag.

Tabel 10.3: Samlede forsinkelser for de respektive strømme i hverdage.

Periode	Opskalerede forsinkelser (s)			Samlet forsinkelse (tt:mm:ss)
	Nord-Øst (V)	Nord-Syd (L)	Nord-Vest (H)	
Kl. 07-09	4.732	8.750	1.015	04:01:37
Kl. 15-17	9.143	16.054	3.080	07:51:17
	Vest-Nord (V)	Vest-Øst (L)	Vest-Syd (H)	
Kl. 07-09	-	5.640	5.600	03:07:20
Kl. 15-17	820	6.593	4.680	03:21:33
	Øst-Syd (V)	Øst-Vest (L)	Øst-Nord (H)	
Kl. 07-09	12.580	2.960	1.768	04:48:28
Kl. 15-17	5.634	6.885	762	03:41:21
	Syd-Vest (V)	Syd-Nord (L)	Syd-Øst (H)	
Kl. 07-09	6.588	17.212	16.146	11:05:46
Kl. 15-17	10.540	11.260	18.160	11:06:00
Samlet forsinkelse 07-09 (tt:mm:ss)	23:03:11			
Samlet forsinkelse 15-17 (tt:mm:ss)	26:00:11			
Samlet forsinkelse i alt (tt:mm:ss)	49:03:22			

Af tabel 10.3 ses det, at de største samlede forsinkelser i både morgen- og eftermiddagsspidsbelastningsperioderne kan tilskrives turene fra syd, altså fra Hobrovej-benet. De laveste samlede forsinkelser opnås ved turene fra vest, altså fra Kong Chr. Allé-benet.

Samlet set haves de største forsinkelser i eftermiddagsspidsbelastningsperioden, selvom forsinkelserne er relativt jævnt fordelt over de to perioder. I alt antager de samlede forsinkelser i krydsets spidsbelastningsperioder ca. 49 timer for hverdage.

Ønskes det at opskalere de samlede forsinkelser for et helt døgn, må der indsamles data om trafikmængderne i alle døgnets timer. Alternativt kan en trafikmodel benyttes, hvorved det vil være muligt at modellere trafikmængderne for hele beregningsvejnettet i enhver ønskelig periode.

Prissætning

Transport- og Energiministeriet har udarbejdet udgivelsen "Nøgle-talskatalog - til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet" (Transport- og Energiministeriet 2006).

Tidsværdierne heri er angivet i 2003-markedspriser, hvorfor den benyttede værdi er fremskrevet til 2006-priser. Det er valgt ikke at fremskrive til 2007-priser, da trafik-tællingen er udført i 2006, ligesom de benyttede GPS-data er fra den sidste halvdel af 2006 og den første halvdel af 2007. Det er herudover valgt at benytte en værdi for bolig-arbejds-trafik, idet en stor mængde af trafikken i de to spidsbelastningsperioder må antages at bestå af ture mellem arbejde og hjem.

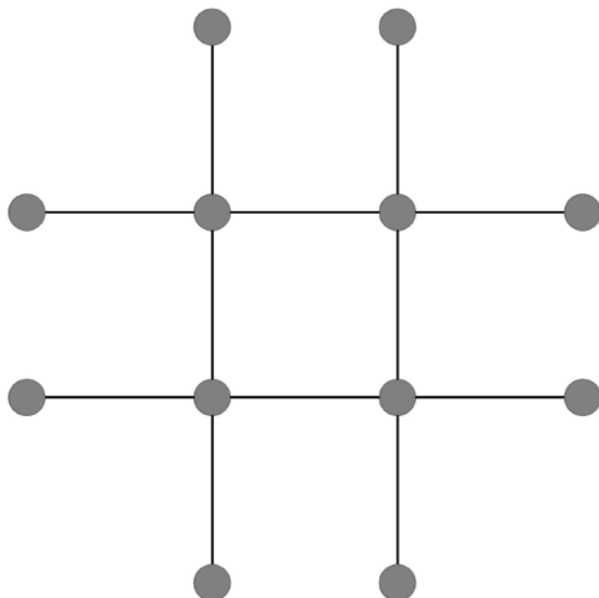
Den benyttede prissætning er på baggrund af disse forudsætninger bestemt til 90,1 kr./time pr. personbil. Idet de beregnede forsinkelser er baseret på trafikmængder angivet i personbilenheder, kan den beregnede samlede forsinkelse omregnes direkte til monetære enheder. Resultatet af dette er en samfundøkonomisk omkostning på 4420 kr. for spidsbelastningsperioderne på en hverdag.

10.4 Opskalering af trængsel for et vejnet

I de foregående afsnit er det vist, hvordan trængselopgørelser for et kryds eller en strækning kan opskaleres, således resultaterne repræsenterer trængslen for de samlede trafikmængder. I dette afsnit vil det blive beskrevet, hvordan en trængselsopgørelse for et samlet vejnet kan struktureres.

Vejnetsopdeling

Traditionelt inddeles et vejnet i segmenter, der adskilles af knudepunkter, typisk lokaliseret i vejnettets knudepunkter. Af figur 10.9 ses en principskitse af et vejnet opdelt efter segmentmetoden.



Figur 10.9: Principskitse af et segmentopdelt vejnet.

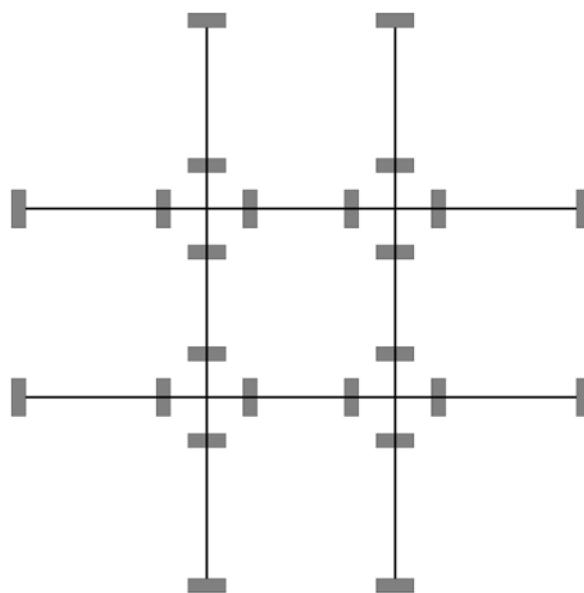
Ved at foretage en vejnetsopdeling efter dette princip opdeles vejnettet i en lang række segmenter, hvor segmenterne ikke kan overlape hinanden.

Da krydsene, svarende til knudepunkterne i segmentopdelingen, oftest udgør flaskehalsene i et trafiksystem, er det fundet uhensigtsmæssigt at benytte en sådan opdeling, da denne principielt deler kryds op i mindre dele, der bliver tildelt de tilstødende strækninger. Derved bliver det svært at bestemme trængselsgraden i et kryds, idet forsinkelserne i de enkelte trafikstrømme adskilles og udjævnes i kraft af segmentopdelingens natur.

For at afhjælpe denne problemstilling foreslås i dette projekt en alternativ vejnetsopdeling. Denne er en videreførelse af de principper, der er benyttet til trængselsanalyse af enkelte kryds og strækninger. Af figur 10.10 ses denne alternative opdeling for det samme vejnet, som principskitsen på figur 10.9 viser. Det grundlæggende princip i denne opdeling er, at vejnettet opdeles i trafikstrømme frem for vejsegmenter.

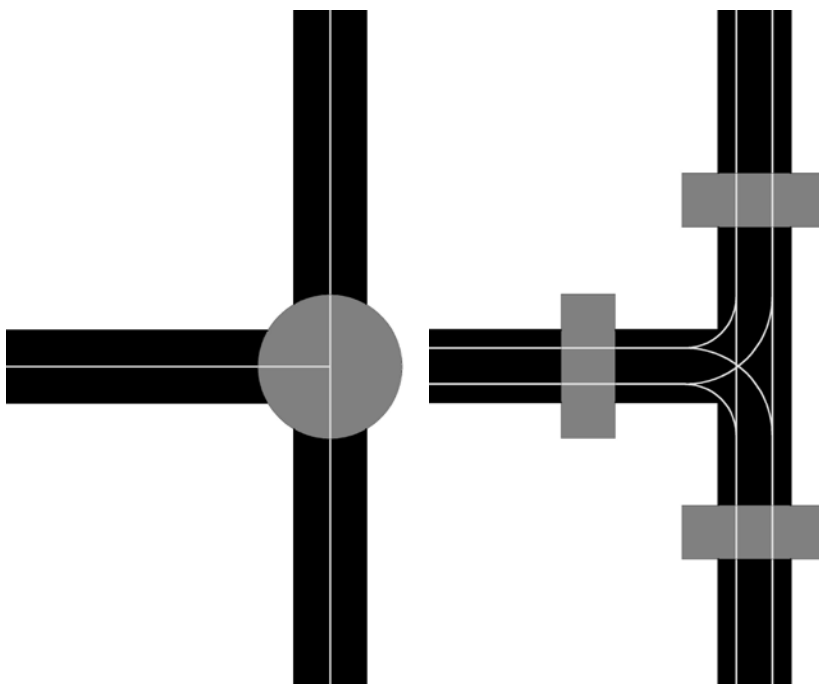
Til forskel fra segmentinddelingen kan de enkelte strømme i strømodelingen overlape hinanden. Således vil vejnettets strømme bestå af summen af strømmene mellem de enkelte bokse og naboboksene til disse. Figur 10.11 viser forskellen på de to principper illustreret for

Figur 10.10: Principskitse af et strøm-opdelt vejnet.



et T-kryds. Hver af de fire bokse, der omgiver et firebenet kryds, som illustreret på figur 10.10, vil have fire nabobokse. Den ene af disse er den nærmeste boks væk fra krydset, mens de sidste tre repræsenterer de tre øvrige ben i det firebenede kryds. Et kryds vil med denne opdeling bestå af 12 strømme, som udgør de mulige kombinationer mellem de fire bokse, der omgiver krydset, mens en strækning uden til- og frakørselsmuligheder vil bestå af to strømme, der udgør strækningens to trafikretninger.

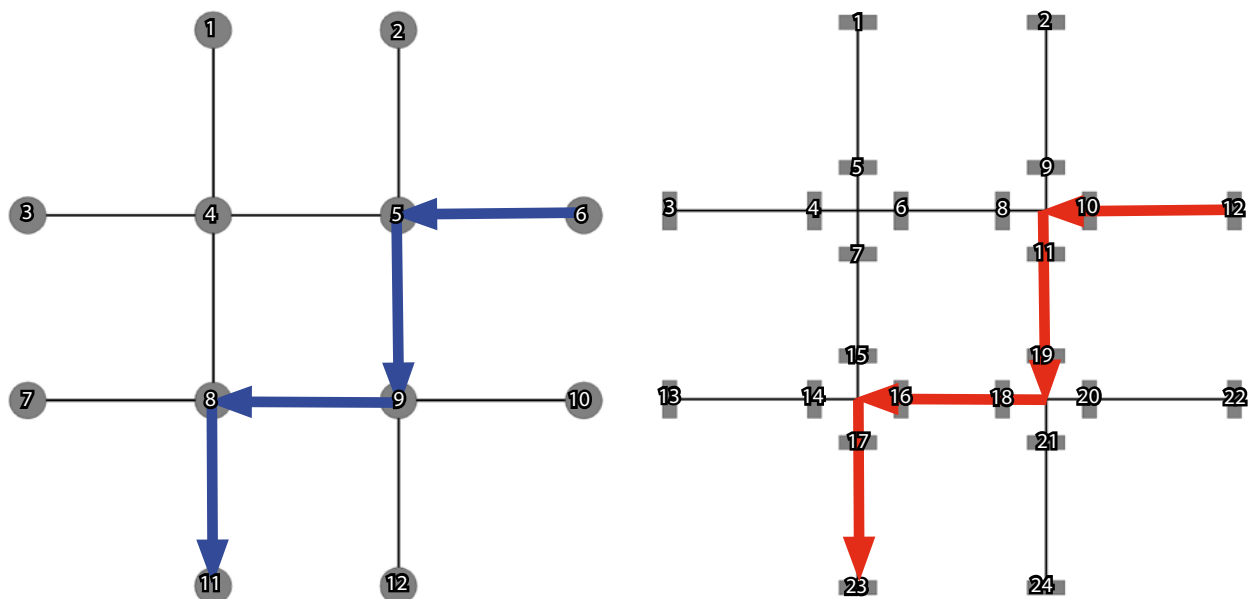
Figur 10.11: Sammenligning af segmentopdelt og strømopdelt vejnet.



Ønskes det at sammenligne trængselsgraden mellem to eller flere kryds, anbefales det at placere krydsenes bokse i samme afstand fra krydsene. Jo større afstanden er fra krydset, jo større er sandsynligheden for høje hastigheder, hvilket vil påvirke trængselsgraden og

dermed sammenligneligheden mellem to kryds. Udover at sammenligne trængselsgrader mellem to kryds eller to strækninger, kan de samlede forsinkelser eller omkostninger sammenlignes, ligesom det også kan vælges at opgøre det pr. km strækning.

Strømoddelingen har sin styrke ved opgørelse af trængsel i kryds. Hvor segmentopdeling begrænser sig til at opgøre trængslen for hvert ben, kan strømoddelingen skelne mellem de forskellige svingbevægelser i kraft af, at den netop er strømoddelt. Dette ses illustreret af figur 10.12.



Figur 10.12: Den samme tur gennem et vejnet, henholdsvis segmentopdelt og strømoddelt.

Af figuren ses den samme tur på det samme vejnet, der er opdelt på de to forskellige måder. På det segmentopdelte vejnet til venstre vil turen gå gennem knudepunkterne 6-5-9-8-11, mens turen på det strømoddelte vejnet til højre vil gå gennem boksene 12-10-11-19-18-16-17-23.

Ønskes det at opgøre den samlede rejsetid for turen kan det gøres ud fra de gennemsnitlige rejsehastigheder for de respektive strømme og segmenter. Ved en sådan opgørelse vil den samlede rejsetid gennem det samme vejnet, men med de forskellige opdelinger, ikke være den samme. For det segmentopdelte vejnet vil rejsehastigheden mellem f.eks. knudepunkterne 5 og 6 være baseret på alle de ture, der kører ind i krydset fra det pågældende ben, uanset hvilken svingbevægelse de foretager i krydset. Således vil rejsetiden for venstresvinget efter knudepunkt 6 delvist være baseret på ture, der kører ligeud i krydset, og dermed har mulighed for en betydeligt højere hastighed. Dette kan påvirke den samlede rejsetid i forhold til den bestemt på det strømoddelte vejnet, hvor rejsehastighederne baseres på de ak-

tuelle svingbevægelser gennem krydset.

Med strømopdelingen vil det være muligt at opnå gennemsnitlige trængselsgrader, rejsehastigheder eller rejsetider for de enkelte trafikstrømme afgrænset efter tidspunkt på dagen, ugedag eller sæsonhensyn alt efter ønske og formål.

En problematik, det vil være nødvendigt at tage stilling til, især ved relativt små flådestørrelser, er enkelte ID'ers dominering af strømmene. Benyttes en trafikstrøm eksempelvis af den samme bilist hver morgen på vej til arbejde, vil strømmen blive domineret af denne bilists køremåde og hastighedsvalg, hvis de øvrige bilister blot benytter strømmen ved specifikke ærindekørsler. Således kan det være relevant, at benytte en vægtning efter, hvor mange passager det samme ID har gennem den samme strøm, således denne effekt udjævnes. Derved vil den gennemsnitlige rejsehastighed eller rejsetid udjævnes til at afbilde den gennemsnitlige bilists køremåde og hastighedsvalg.

Ruteplanlægning

Anvendes denne vejnetsopdeling for et helt vejnet, vil det være muligt at opnå præcise estimater på rejsetiden gennem en række af strømme på et bestemt tidspunkt. I praksis kunne vejnetsopdelingen bokse være implementeret i et vejkort, hvorved hver enkelt logning kan gennemgås for eventuelle tilhørsforhold til en af boksene. Et program tilsvarende det anvendt i dette projekt, men med en højere grad af automatisering, vil på denne måde herefter kunne sammenkæde de enkelte logninger til delture, svarende til de enkelte strømme i vejnetsopdelingen. Hver gang en tur passerer en boks, vil programmet kunne søge tilbage til den sidst passerede naboboks og beregne en rejsehastighed eller rejsetid for den pågældende deltur.

Disse historiske data vil kunne anvendes til mere dynamisk og præcis ruteplanlægning, hvor man udover udgangspunkt og destination også angiver dato og starttidspunkt. Ud fra disse oplysninger angives den hurtigste rute beregnet ud fra de historiske data om de mulige kombinationer af strømme.

11 Konklusion

Formålet med dette projekt har været at undersøge metoder til at registrere, analysere og kvantificere trængsel på et vejnet ved brug af GPS-data. Dette er gjort ud fra en række delspørgsmål, som er besvaret i rapporten. I det følgende opsummeres resultaterne fra besvarelsen af disse.

- Hvordan analyseres GPS-data med henblik på opgørelse af trængsel?

Det har vist sig, at kryds er mere komplekse at analysere end strækninger, hvorfor det er valgt at betragte al trafik som strømme. Således består en strækning af to modsat rettede strømme, mens et almindeligt firebenet kryds består af 12 strømme. På denne måde kan kryds analyseres på samme måde som strækninger.

For at kunne anvende GPS-data til bestemmelse af trængsel skal GPS-data konverteres til ture. I et tværfagligt samarbejde med et afgangprojekt på datalogistudiet er der udviklet en række programmer, der både kan udvælge data ved hjælp af en række geografiske betingelser samt sammensætte de enkelte logninger til hele ture. Herudover kan der foretages yderligere behandling af data, der begrænser det manuelle arbejde.

På baggrund af erfaringerne med dette projekt kan det konkluderes, at det er nødvendigt at have sådanne programmer til rådighed. Uden disse vil arbejdstiden med behandling af data gøre analyserne uinteressante, da de ikke vil være økonomisk fordelagtige. Da der ikke findes alment udbredte programmer, der kan foretage disse operationer, har det været en nødvendighed at få dem udarbejdet på egen hånd.

- Hvordan undersøges validiteten af GPS-data?

Det er valgt at validere de tilgængelige data ved en sammenligning med traditionelle metoder til registrering af trængsel. Således er der for et snit på en strækning sammenlignet med en Mastratælling, mens der for et kryds er foretaget en beregning i Dankap.

Resultatet af den udførte validering viser, at et datasæt på ca. 16 mil-

ligner logninger i en by af Aalborgs størrelse kun kan give robuste resultater på større veje og i perioder ned til to til tre timer aggregeret over alle hverdage. En omfattende analyse af et vejnet på størrelse med Aalborg by vil dermed kræve en langt større datamængde, hvorved behovet for software til de indledende analyser skærpes yderligere.

Udover at indsamle en tilstrækkelig datamængde er det vigtigt, at chaufførerne ikke påvirkes, som i dette projekt, hvor der er anvendt data fra Spar På Farten, der er et hastighedsdæmpende projekt. Er dette ikke tilfældet, vil resultaterne have en systematisk skævhed, hvilket også fremgår tydeligt i valideringen i dette projekt. Således har det økonomiske incitament til maksimalt at overskride hastighedsgrænsen med 5 km/t bevirket et generelt lavere hastighedsniveau i GPS-analyserne i forhold til den samlede trafik, hvilket har betydning ved bestemmelsen af free-flow. Derfor bør chaufførerne udvælges, så de udgør et repræsentativt udsnit af den samlede trafik.

- Hvordan bestemmes tidstab ved trængsel i en trafikstrøm, og hvordan opskales dette til et helt vejnet?
- Hvordan bestemmes trængselsgraden for en trafikstrøm?

Som tidligere nævnt er det valgt at betragte trafikken i strømme. For disse sammenlignes det gennemsnitlige tidsforbrug i en aktuel situation med det gennemsnitlige tidsforbrug i en situation uden trængsel. Forskellen mellem disse to værdier udgør det gennemsnitlige tidstab. For at opgøre det samlede tidstab for en strækning eller et kryds over en periode, summeres strømmenes gennemsnitlige tidstab ganget med antallet af passager for hver enkelt strøm. Ud fra det samlede tidstab kan de samlede samfundsøkonomiske omkostninger slutteligt bestemmes ved anvendelse af samfundsøkonomiske enhedspriser.

Således er der for krydset mellem Østre Allé og Hobrovej på hverdage beregnet en samlet forsinkelse, som følge af trængsel, på 23 timer i morgenspidsperioden fra 6.00 - 9.00, mens der i eftermiddagsspidsperioden fra 14.00 - 17.00 spildes 26 timer. Dette kan opgøres i monetære enheder, hvorved trængslen i dette kryds udgør en omkostning for samfundet på henholdsvis 2077 og 2343 kr. for de to spidsbelastningsperioder på én hverdag.

Trængselsgraden vurderes i dette projekt ud fra den samme definition, som benyttes i Projekt Trængsel (Trafikministeriet 2004). Denne

findes som forskellen mellem free-flow-hastigheden og en aktuel hastighed for en strøm i forhold til free-flow-hastigheden. I teorien vil dette give en værdi mellem 0 og 1, hvor 1 svarer til et trafikalt sammenbrud, og 0 svarer til free-flow-situationen. Alt efter behov kan free-flow-hastigheden dog defineres på forskellige måder, hvorved der også kan opnås en negativ trængselsgrad, ligesom denne er bestemmende for udfaldet af trængselsgradbestemmelsen.

På baggrund af dette er trængselsgraden for de 12 trafikstrømme i krydset mellem Østre Allé og Hobrovej beregnet til at ligge mellem 0,49 og 0,67 i morgenspidsperioden på hverdage, mens den for eftermiddagsspidsperioden ligger mellem 0,53 og 0,71.

Den valgte analysemetode gør det muligt både at fokusere på en enkelt strækning eller et enkelt kryds, men også på et helt vejnet. Ved at opdele vejnettet efter en strømopdeling fremfor den traditionelle segmentopdeling, kan nogle af problemerne ved de traditionelle metoder elimineres. Således vil strømopdelingen give mere præcise resultater ved bestemmelse af rejsetider eller rejsehastigheder for de enkelte delture i en rute.

Det konkluderes, at anvendelse og videreudvikling af de beskrevne metoder og procedurer kan udgøre et stærkt supplement til, og med tiden erstatte, de traditionelle metoder til vurdering af trængselsomfanget. De udviklede metoder er universelle og kan anvendes på strækninger og i kryds for ethvert vejnet. De primære fokusområder for videreudvikling af metoderne vil være koncentreret omkring yderligere automatisering af de beskrevne procedurer.

12 Perspektivering

I dette projekt er der fokuseret på den historiske og analyserende brug af GPS-data. En anden vinkel er dog realtidsdetektering. Dette foregår allerede i form af trafikstyrede kryds, der via spoler i vejen får input om trafikken og herfra kan øge grøntiden i en retning. Andre steder benyttes videoovervågning eller spoletællinger, som via Internettet giver borgerne mulighed for at følge trafikken på udvalgte strækninger.

Det er imidlertid også muligt at benytte GPS-data til realtidsdetektering. Via trafikstrømsopdelingen, som blev beskrevet i kapitel 10, kan der genereres data for den enkelte trafikstrøm, for hver gang en bil med tilkøbt GPS-udstyr passerer denne. Via GSM-nettet er det muligt, omend omkostningsfuldt, at indhente data med en høj frekvens, hvorved en realtidsdetektering af rejsehastigheder på de enkelte trafikstrømme er mulig. Derfor er det interessant at undersøge hvilke muligheder, der er i realtidsdetektering

I valideringen kunne der kun opnås præcise resultater ved at summere data over alle hverdage og fordele på tretimersintervaller. Derfor vil en realtidsdetektering kræve langt flere køretøjer. Dette kan opnås ved at indgå et samarbejde med flådeejere, såsom taxavognmænd og andre firmaer, der ejer mange køretøjer. Herved kan opnås mere robuste resultater, selvom der beregnes kortere perioder.

I kapitel 10 omtales muligheden for at planlægge en tur, hvor der med høj præcision kan anvises en rute og forventet rejsetid. Her tages der dog ikke hensyn til pludseligt opståede trængselssituationer, som f.eks. kan skyldes trafikuheld eller vejarbejde. Med realtidsdetektion vil ruten kunne opdateres, hver gang en central server har indhentet data, bearbejdet det, og udsendt resultaterne til de tilkoblede apparater. På denne måde kan bilister ledes uden om pludseligt opståede flaskehalse på vejnettet.

Dette lyder umiddelbart som et nyttigt værktøj for en bilist, men der er dog ulemper ved systemet. Således vil en situation, hvor alle bilister ledes det samme sted hen for at undgå en flaskehals blot skabe en ny, hvorved intet er vundet. I stedet bør ruteanvisningen styres af en central server, der beregner en række alternative ruter og herefter fordeler trafikken ud på disse. Her er det nødvendigt at bilisterne væl-

ger at følge anvisningerne, da flaskehalsene ellers risikerer at opstå alligevel.

Et andet problem ved ruteanvisning er, at den hurtigste vej ikke nødvendigvis er den mest hensigtsmæssige. Således kan det risikeres, at ruteanvisningssystemer leder gennemkørende trafik igennem områder eller ad veje, hvor de er uønskede, såfremt der er en mulig tidsgevinst. Her kan der være tale om boligområder og stilleveje, som udelukkende er tiltænkt lokaltrafik. Derfor bør udarbejdelsen af ruteanvisningsprogrammer foregå i samarbejde med de pågældende vejmyndigheder, så trafikanterne kun ledes ud på hensigtsmæssige strækninger.

Med den stigende trængsel og øgede fokus på brugerbetaling er roadpricing ikke til at se bort fra. Roadpricing går ud på at, kørsel på en strækning eller i et område prissættes afhængig af strækningens betydning for infrastrukturen og tidspunktet for kørslen. Således kan det være gratis at køre om natten, hvor der typisk ikke er trængsel, mens morgen- og eftermiddagstimerne vil være de dyreste, da trængslen er størst her. Ligeledes vil de store trafikårer og indre byområder være de dyreste, da trængslen oftest findes her, mens boligområder og stilleveje prissættes lavt. For hvert køretøj er det således nødvendigt at registrere færdslen enten internt f.eks. vha. GPS eller eksternt, for eksempel ved brug af videoovervågning ved indkørslerne til de prissatte områder.

Med roadpricing indføres de frie markeds kræfter i trafikken, hvor prisen kan opjusteres indtil trafikken falder til et acceptabelt niveau. Alternativt kan en køretilladelse erhverves efter "først til mølle"-princip, hvor kørsel i et område tillades inden for en afgrænset tidsperiode. Således køber trafikanterne så at sige en del af den tilgængelige kapacitet.

Roadpricing vurderes at være et effektivt værktøj til forebyggelse af trængsel, men de sociale aspekter i at udbyde andele i kapaciteten til højstbydende bør overvejes inden denne løsning implementeres.

Under alle omstændigheder medfører en øget brug af GPS en grad af overvågning, som vurderes at skabe en forbeholden tilgang til GPS i Danmark. Derfor afhænger den fremtidige succes for GPS af, hvorvidt denne barriere kan overvindes. Dette kan eksempelvis ske ved en øget fokus på mulighederne inden for ruteanvisning i realtid, således de betydelige gevinster ved systemerne understreges.

Referenceliste

(Andersen et al. 2002)

Andersen H, Andersen V, Fivelsdal E, Gamdrup P, Jensen H S, Kirkeby O F, Knudsen C, Nielsen R 2002, *Videnskabsteori & metodelære - Bind 1 - Introduktion*, 4. Udgave, Samfundslitteratur, Frederiksberg C

(DLR, 2007)

DLR 2007, *Hjemmeside for DLR's trafikforskningsinstitut*
<http://ivf.dlr.de/vf> set d. 30/3 2007

(Economic Research Centre, 1999)

Economic Research Centre 1999, *Traffic Congestion In Europe - Round Table 101*, Economic Research Centre, Paris

(Google 2007)

Google 2007, *Googles internetbaserede kortværk Google Maps*
<http://maps.google.com/> set d. 12/6 2007

(Holstrøm, 2006)

Holstrøm, C 2006, *Internationale erfaringer med anvendelse af GPS- eller GSM-systemer til indsamling af rejsetider fra flåder*, Aalborg Universitet (Artikel fra Trafikdage 2006), Aalborg

(ITIS 2007)

ITIS 2007, *Hjemmeside for ITIS holdings*
http://www.itisholdings.com/index_flash.asp set d.10/6 2007

(Lahrman, et al., 1994)

Lahrman, H et al. 1994, *Kompendium i vejtrafik*, Aalborg Universitetscenter, Danmarks Tekniske Højskole og Vejsektorens Efteruddannelse, Aalborg (ISBN: 87-89-088-75-1)

(Lahrman et al., 2004)

Lahrman, H, Torp, K, Madsen, J R, Heide, P, Raguse, J, Juhl, J, Harms, L, Hage, C 2004, *Redskaber til monitorering af trafikken [REMOTE]*, Aalborg Universitet (Artikel fra Trafikdage 2004), Aalborg

(Larsen et al. 2004)

Larsen, T, Lindholm, R og Lahrman, H, 2004, *Statusrapport for ITS*, Aalborg Universitet

(Lind, 2006)

Lind, G 2006, *OPTIS – Optimised traffic in Sweden*, VIKING Evaluation Group

(RNPR 2005)

RNPR 2005, *RNPR Technical July 2005 ITIS Speed Survey Data*, London

(Schäfer, 2005, 2006)

Schäfer, R P 2005 & 2006, *Real-time Floating Car Data - A data source generating TMC messages & Traffic Data Collection Using Floating Car Data*, DLR, Berlin

(Thagesen et al., 1998)

Thagesen, B 1998, *Veje og stier*, Polyteknisk Forlag, Lyngby

(Trafikministeriet, 2004)

Trafikministeriet 2004, *Projekt Trængsel*, Trafikministeriet

(Transport- og Energiministeriet 2006)

Transport- og Energiministeriet 2006, *Nøgletalskatalog – til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet*, december 2004, revideret juni 2006

<http://www.trm.dk/graphics/Synkron-Library/trafikministeriet/Publikationer/Rapporter/Noegletalskatalog%20juni%202006.pdf> set d. 5/6 2007

(Vejdirektoratet 2005)

Vejdirektoratet 2005, *Vejregelforslag - Kapacitet og serviceniveau*, Vejdirektoratet - Vejregelrådet

(Vejdirektoratet, 2007a)

Vejdirektoratet 2007, *Vejdirektoratets nøgletalsdatabase*

http://webapp.vd.dk/interstat/display.asp?page=dept&objno=59296&THEME_ID=1&OBJECT_ID=&PAGECATEGORY=&PAGE_ID=1353&mode=&isTest=true set d. 12/2 2007

(Vejdirektoratet, 2007b)

Vejdirektoratet 2007, *Trafiksikkerhed - statistik*

<http://www.vejsektoren.dk/wimpdoc.asp?page=document&objno=74639> set d. 18/2 2007

(Vejdirektoratet 2007c)

Vejdirektoratet 2007, *Vejdirektoratets historie*

<http://www.vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=77113> set d. 23/4 2007

(Aalborg Kommune 2006)

Aalborg Kommune 2006, *Mastratællinger fra Aalborg kommune i perioden uge 42 – 48 2006*

(Aalborg Kommune 2007)

Aalborg Kommune 2007, *Hjemmeside for Aalborg Kommune* http://www.aalborgkommune.dk/Website/info_via_kort/ set d. 8/6 2007

(Aalborg Universitet et al. 2006)

Aalborg Universitet 2006, *Hjemmeside for Spar På Farten* <http://www.sarpaafarten.dk/> set d. 11/6 2007



Bilagsrapport

Bilag 1 - Forarbejdning af GPS-data

Til dette projekt er der udviklet tre programmer, der kan foretage den indledende sortering af data. Programmernes funktioner er beskrevet i kapitel 6, mens der i dette bilag gøres rede for anvendelsen.

Programmerne er php-baserede, hvorfor der må installeres et program, der gør anvendelsen af dette muligt. Her kan f.eks. gratisprogrammet WAMP5 benyttes. Det kan downloades fra følgende adresse:

<http://www.wampserver.com/en/download.php>

Programmet installeres på computeren, og under installationen defineres en mappe ved navn Wamp, som skal benyttes til dataarbejdet. Placeringen af denne kan frit vælges på computeren.

Programfilerne, som kan hentes fra www.plan.aau.dk/~ntan04, udpakkes i ovenstående mappe. De udpakkes med winrar eller et lignende program, og består af følgende:

- gPoint.php
- map.php
- index.php
- findavg.php
- cat.php
- deletezero.php
- En tom mappe "Cat"
- En tom mappe "Zero"

Herudover skal den ønskede datafil ligeledes placeres i datamappen. De to øverste filer skal ikke ændres af brugeren, mens de fire øvrige skal ændres i henhold til den ønskede databehandling. De to mapper benyttes til placering af ture til anvendelse i henholdsvis cat.php og deletezero.php

For at benytte programmerne åbnes en kommandoprompt i Windows. Her er det i nogle tilfælde nødvendigt at indtaste "path=c:\programmer\wamp\php", inden ovenstående filer benyttes. Hvis WAMP5 er installeret i en anden mappe end "programmer" indtastes denne i stedet.

Det første program, der skal anvendes er `index.php`. Dette er tilpasset formatet af Spar På Fartens data, hvorfor andre datakilder må tilpasses dette format. `Index.php` åbnes med Notepad eller lignende. Herefter indtastes koordinater for to hjørne i henholdsvis den primære og de to sekundære områder, mens navnet på den ønskede datafil ligeledes defineres.

Herefter findes Wamp-mappen i kommandoprompten, hvor der indtastes `"php index.php"` for at køre filen. Herefter gennemgås datafilen og for hver tur, der overholder de geografiske betingelser, genereres en fil, der placeres i Wamp-mappen.

Efter at have genereret de ønskede turfiler kan der genereres en fil, hvor rejsehastighed og tidspunkt for hver tur fremgår. Dette gøres med `findavg.php`. De ønskede ture skal være placeret i Wamp-mappen, hvorefter `findavg.php` åbnes. Her indtastes navnet på de ønskede ture, f.eks. nord-øst. Turfilernes navne indeholder yderligere en nummerering, som ikke er nødvendig at indtaste. Det er muligt at foretage beregningen på et eller to forskellige navne, f.eks. nord-øst og øst-nord. For at køre `findavg.php` åbnes Wamp-mappen igen i kommandoprompten, hvorefter der indtastes: `"php findavg.php"`.

Ønskes det at samle alle logningerne fra en række turfiler i én fil skal `cat.php` benyttes. De ønskede turfiler placeres i Cat-mappen, hvorefter `cat.php` åbnes. Her kan det ønskede navn på den samlede fil indtastes. Herefter køres `cat.php` med kommandoen `"php cat.php"`, hvorved en samlet fil genereres i Wamp-mappen.

Til beregning af free-flow kan det være nyttig at udelade ture, hvor køretøjet har holdt stille. Til dette formål placeres de ønskede turfiler i Zero-mappen, hvorefter `deletezero` køres i kommandoprompten med kommandoen `"php deletezero.php"`. Efter kørslen af programmet er alle de turfiler, hvor én eller flere logninger har indeholdt en hastighed på 0 km/t, slettet. Disse kan behandles i `findavg.php` og `cat.php` inden en analyse foretages.

Bilag 2 - Reducering af hastighedslogninger

I beregningen af free-flow-rejsehastigheder kan det være fordelagtigt at eliminere effekten af hastighedsoverskridelser. Dette skyldes, at hastighedsoverskridelser i forvejen er en samfundsøkonomisk omkostning, hvorfor dette element ikke ønskes at optræde flere gange i en samlet beregning for et kryds eller en strækning. Således kan hastighedsovertrædelser elimineres med den følgende metode.

Den gennemsnitlige rejsehastighed i både aktuelle og free-flow-situationer beregnes som gennemsnittet af de udvalgte hastighedslogninger. Da der således ikke fokuseres på de enkelte ture, men i stedet på de enkelte logninger, kan disse defineres som en række små turfragmenter, der alle har tilknyttet en hastighed, en tid, som er lig ét sekund for alle logninger, samt en distance, der er lig med tiden ganget med hastigheden (1).

$$(1) \quad d(m) = v(m/s) \cdot t(s)$$

I de tilfælde, hvor den acceptable hastighed, f.eks. hastighedsgrænsen, overskrides, er ønsket således at lade disse repræsentere den ønskede hastighed. Det er dog ikke nok at ændre værdien for hastigheden, da den repræsenterede distance ligeledes ændres. Således vil en opgørelse over det samlede trafikarbejde, som er lig summen af hver lognings distance, formindskes. I stedet ændres tiden, som ligeledes er den faktor, der ville blive påvirket, hvis hastigheden på en given tur.

Således er den nye tidsværdi lig med den tid det tager at tilbagelægge logningens distance med den ændrede hastighed. Denne tid beregnes som følger (2):

$$(2) \quad t_{acc} = \frac{v \cdot t}{v_{acc}}$$

Hvor: v = den oprindeligt loggede hastighed
 t = den oprindelige rejsetid = 1 sekund
 v_{acc} = den acceptable hastighed
 t_{acc} = rejsetiden ved den acceptable hastighed

Når hver logning ansues som et turfragment på x antal meter, er der således gjort det, at de turfragmenter, der overskrider den acceptable hastighedsgrænse, er blevet reduceret til den acceptable hastighed. Med hastighedsreduktionen og en fast distance vil rejsetiden således også ændres, hvorfor ovenstående korrigerende (2) af denne må foretages.

Når den gennemsnitlige rejsehastighed skal beregnes, er det ikke længere nok at foretage en simpel gennemsnitsberegning, da denne forudsætter, at alle hastigheder er repræsenteret ved den samme rejsetid. I stedet benyttes et vægdet gennemsnit. Vægtingen foretages i henhold til rejsetiden, hvorved følgende metode benyttes (3):

$$(3) \quad v_{gns} = \frac{v_1 \cdot t_1 + v_2 \cdot t_2 + \dots + v_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

Hvor: v_{gns} = den gennemsnitlige rejsetid
 v_1 - v_n = hastighedslogningerne
 t_1 - t_n = rejsetiderne
 n = antallet af logninger

Som det fremgår af (3), svarer den øverste del af ligningen til den samlede rejste distance jf. (1), mens den nederste del svarer til den samlede rejsetid. Således er resultatet af denne beregning en gennemsnitlig rejsehastighed.

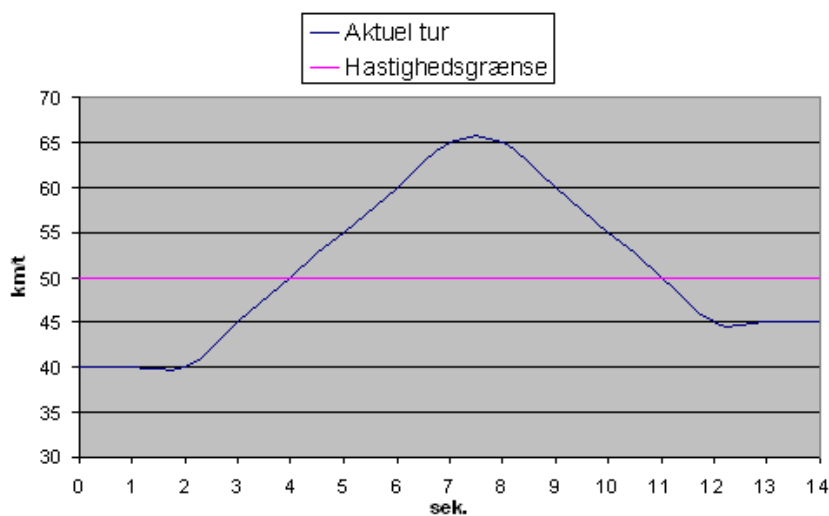
I det følgende gennemgås et beregningseksempel, hvor den aktuelle og den acceptable gennemsnitlige rejsehastighed beregnes. Der tages udgangspunkt i en tur med følgende hastighedslogninger, tidsforbrug og distance, se tabel B2.1. Turen er foretaget på en strækning, hvor hastighedsgrænsen er 50 km/t.

En logning beskriver det foregående sekunds kørsel, hvorfor den første logning kun beskriver rejsehastigheden op til den del af turen, der fokuseres på. Turen kan vises grafisk, som det fremgår af figur B2.1, hvor den summerede distance udgør X-aksen, mens rejsehastigheden udgør Y-aksen.

Som det fremgår af figur B2.1, er der nogle logninger for turen, der overskrider hastighedsgrænsen. For at beregne den acceptable rejsehastighed er det nødvendigt at omregne disse til den acceptable hastighed, som i dette tilfælde er hastighedsgrænsen på 50 km/t. Som eksempel på omregningen tages udgangspunkt i logning 8, se tabel B2.1.

Logning	Hastighed (km/t)	Tid (s)	Sum. tid (s)	Distance (m)	Sum. distance (m)
1	40	0	0	0	0
2	40	1	1	11,1	11,1
3	40	1	2	11,1	22,2
4	45	1	3	12,5	34,7
5	50	1	4	13,9	48,6
6	55	1	5	15,3	63,9
7	60	1	6	16,7	80,6
8	65	1	7	18,1	98,6
9	65	1	8	18,1	116,7
10	60	1	9	16,7	133,3
11	55	1	10	15,3	148,6
12	50	1	11	13,9	162,5
13	45	1	12	12,5	175,0
14	45	1	13	12,5	187,5
15	45	1	14	12,5	200,0

Tabel B2.1: Logninger for en tur.



Figur B2.1: Hastighedsbilledet for den aktuelle tur..

Her er den loggede hastighed 65 km/t og den rejste distance er 18,1 m. Dette ønskes omregnet, så der stadig er rejst 18,1 m, men med 50 km/t, hvorved tidsforbruget forøges. Med udgangspunkt i (2) bliver den nye rejsetid for logning 8 som det fremgår af (4):

$$(4) \quad t_{acc(8)} = \frac{65 \text{ km/t} \cdot 1 \text{ s}}{50 \text{ km/t}} = 1,3 \text{ s}$$

Denne beregning foretages for alle logninger, der overskrider hastighedsgrænsen, hvorved de korrigerede turdata ser ud, som det fremgår af tabel B2.2:

Logning	Hastighed (km/t)	Tid (s)	Sum. tid (s)	Distance (m)	Sum. distance (m)
1	40	0	0	0	0
2	40	1	1	11,1	11,1
3	40	1	2	11,1	22,2
4	45	1	3	12,5	34,7
5	50	1	4	13,9	48,6
6	50	1,1	5,1	15,3	63,9
7	50	1,2	6,3	16,7	80,6
8	50	1,3	7,6	18,1	98,6
9	50	1,3	8,9	18,1	116,7
10	50	1,2	10,1	16,7	133,3
11	50	1,1	11,2	15,3	148,6
12	50	1	12,2	13,9	162,5
13	45	1	13,2	12,5	175,0
14	45	1	14,2	12,5	187,5
15	45	1	15,2	12,5	200,0

Tabel B2.2: Tur med reducerede hastighedslogninger.

I tabel B2.3 fremgår distance, rejsetid og rejsehastighed for den aktuelle og den acceptable tur. Her fremgår det, at den acceptable tur har en lavere rejsehastighed og dermed en længere rejsetid over de 200 m.

I ovenstående beregningseksempel er der benyttet data fra en enkelt tur. Dette kan dog også gøre for data fra flere, da hver logning betragtes som et enkeltstående tursegment. Således giver ovenstående en rejsehastighed, mens beregninger på baggrund af data fra flere ture vil give en middelvejshastighed.

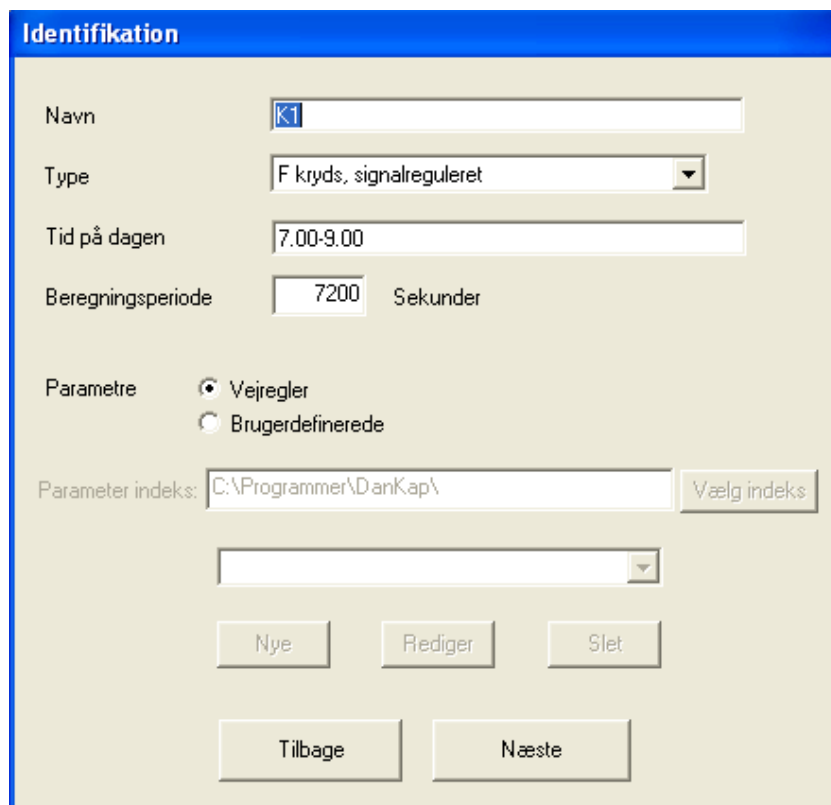
Tabel B2.3: Resultater for aktuel og acceptabel tur.

Tur	Distance (m)	Rejsetid (s)	Rejsehastighed (km/t)
Aktuel	200	14,0	51,4
Acceptabel	200	15,2	47,4

Bilag 3 - Dankap-beregninger

I valideringen af det tilgængelige GPS-data er det valgt at foretage en sammenligning med en Dankapberegning for krydset mellem Østre Allé og Hobrovej. Således fremgår forudsætningerne for denne beregning i det følgende.

På figur B3.1 fremgår de første indgangsforudsætninger til Dankap. Der er valgt et firebenet kryds i perioden fra 7.00 til 9.00. Der analyseres også fra 15.00 til 17.00, men begge perioder strækker sig over to timer, hvorfor der ikke skal ændres på analyseperioden, der her er opgjort i sekunder. Herudover er det valgt at benytte de prædefinerede indstillinger for vejregler. Dette er f.eks. personbilækvivalenter, passagetider osv.



Figur B3.1: Identifikation af strækningstype.

På figur B3.2 fremgår opbygningen af krydset. Således er der for hver retning ét bunden venstre- og højresvingsspor, mens der er to ligeudgående spor. Det er valgt at benytte en middel ankomstfordeling, som er standarden i Dankap.

På tabel B3.1 og B3.2 fremgår de indtastede datamængder for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidsperioden. Disse er bestemt

Figur B3.2: Geometri, ankomstfordeling og trafik.

Retning	Person- og varebiler	Lastbiler og busser	Sætte- og påhængsvogntog	Motorcykler og registreringspligtige knallerter	Cyklister
Nord (v)	258	17	0	6	%
Nord (l)	1027	22	0	0	184
Nord (h)	28	9	0	0	%
Vest (v)	32	7	0	2	%
Vest (l)	550	23	11	0	100
Vest (h)	300	5	0	0	%
Øst (v)	546	71	0	2	%
Øst (l)	547	24	0	0	73
Øst (h)	339	11	2	0	%
Syd (v)	311	6	1	7	%
Syd (l)	1054	27	0	0	206
Syd (h)	414	74	2	1	%

Table B3.1: Morgentrafikken fra 7.00 - 9.00.

via en krydstælling foretaget af Aalborg Kommune onsdag d. 22/3 2006.

Der er foretaget en tidsmåling i eftermiddagsspidsperioden i krydset, hvoraf der er registreret en omløbstid på 90 sekunder. Herudover er der fire faser, hvilke er indtastet i Dankap som det fremgår af figur B3.3.

Faseinddelingen og de forskellige grøn- og mellemtider fremgår af figur B3.4

Retning	Person- og varebiler	Lastbiler og busser	Sætte- og påhængsvogtøge	Motorcykler og registreringspligtige knallerter	Cykler
Nord (v)	394	4	2	8	%
Nord (l)	1269	10	1	0	194
Nord (h)	131	7	0	3	%
Vest (v)	24	10	0	5	%
Vest (l)	598	8	1	0	48
Vest (h)	446	2	0	2	%
Øst (v)	471	66	1	4	%
Øst (l)	816	14	0	0	123
Øst (h)	224	3	0	2	%
Syd (v)	543	5	0	4	%
Syd (l)	1022	9	0	0	304
Syd (h)	664	73	0	3	%

Table B3.2: Eftermiddagstrafikken fra 15.00 - 17.00.

Signalkryds. Definitioner for signalprogram

K1

Antal faser

Maskinelt beregnet omløbstid
 Brugerdefineret omløbstid

Omløbstid Brugerdefinerede grøntider

Figure B3.3: Faser og omløbstid.

Figur B3.4: Faseinddeling.

Signalkryds, faser, brugerdefinerede tider og højresvingeres vigepligtsforhold

K1

Nord

I beregningen tages hensyn til at højresvingende skal vige for lette trafikanter

Antal sek. cykler og fodgængere får grønt før højresvingere: 0

1 1 1+2

Vest

fase(r)

3

3

2+3

I beregningen tages hensyn til at højresvingende skal vige for lette trafikanter

Antal sek. cykler og fodgængere får grønt før højresvingere: 0

Øst

I beregningen tages hensyn til at højresvingende skal vige for lette trafikanter

Antal sek. cykler og fodgængere får grønt før højresvingere: 0

fase(r)

2+3

3+4

3+4

Brugerdefinerede		
Fase	Grøntid	Mellemtid efter fase
1	27	1
2	16	6
3	21	1
4	12	6

Syd

I beregningen tages hensyn til at højresvingende skal vige for lette trafikanter

Antal sek. cykler og fodgængere får grønt før højresvingere: 0

1+2 1 4+1

Tilbage Næste

Med de ovennævnte indstillinger beregner Dankap følgende belastningsgrader, middelforsinkelser og kølængder i de forskellige tilfartsspor for morgen- og eftermiddagsspidsperioden, se figur B3.5 og B3.6.

Beregningerne kan ligeledes foretages med grøn- og mellemtider beregnet af Dankap. I så fald ser resultaterne for de perioder ud, som det fremgår af figur B3.7 og B3.8

Figur B3.5: Resultat for morgen med brugerdefinerede grøntider.

Signalkryds, Resultat

K1

Tid på dagen: 7:00-9:00

Trafik: K1 Morgen

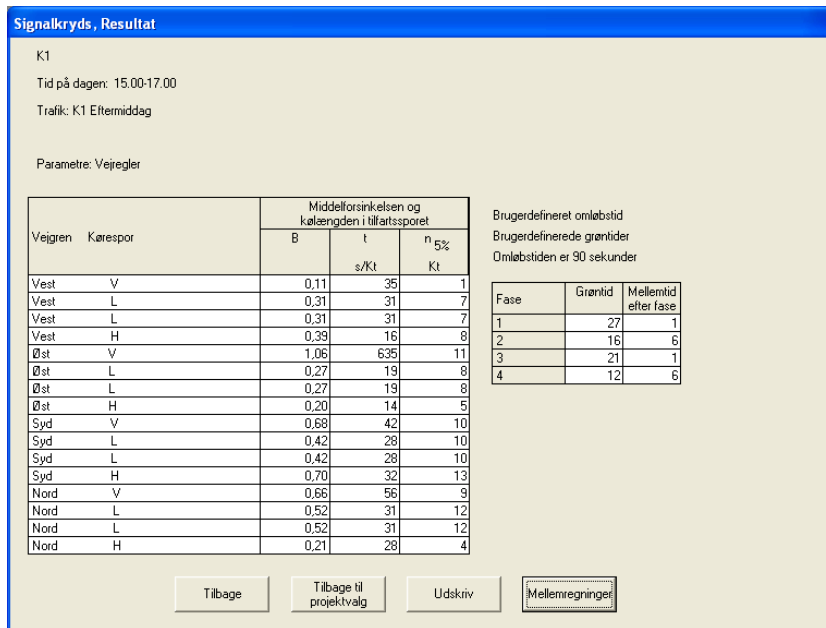
Parametre: Vejregler

Vejgiren	Kørespør	Middelforsinkelsen og kølængden i tilfartssporet		
		B	t s/Kt	n 5% Kt
Vest	V	0,15	41	1
Vest	L	0,31	31	7
Vest	L	0,31	31	7
Vest	H	0,27	14	6
Øst	V	1,01	348	1
Øst	L	0,19	18	6
Øst	L	0,19	18	6
Øst	H	0,31	15	6
Syd	V	0,37	22	6
Syd	L	0,44	29	10
Syd	L	0,44	29	10
Syd	H	0,46	19	9
Nord	V	0,35	23	6
Nord	L	0,43	29	10
Nord	L	0,43	29	10
Nord	H	0,06	25	1

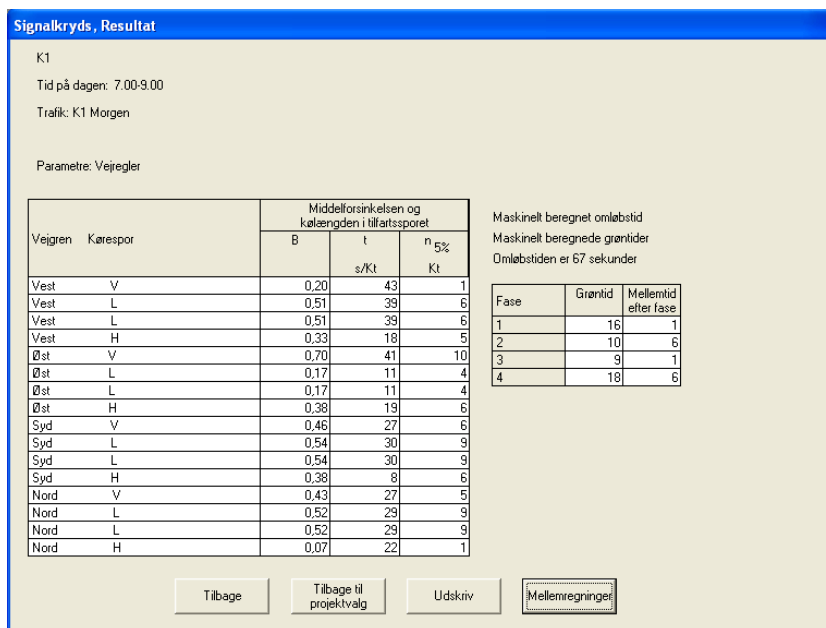
Brugerdefineret omløbstid
Brugerdefinerede grøntider
Omløbstiden er 90 sekunder

Fase	Grøntid	Mellemtid efter fase
1	27	1
2	16	6
3	21	1
4	12	6

Tilbage Tilbage til projektvalg Udskriv Mellemløbet



Figur B3.6: Resultater for eftermiddag med brugerdefinerede grøntider.



Figur B3.7: Resultater for morgen med Dankapbereggede grøntider.

Figur B3.8: Resultater for eftermiddag med Dankapberegnete grøntider.

Signalkryds, Resultat

K1
Tid på dagen: 15.00-17.00
Trafik: K1 Eftermiddag
Parametre: Vejregler

Vejgren	Kørespør	Middelforsinkelsen og kølængden i tillærtssporet		
		B	t s/Kt	n 5% Kt
Vest	V	0,28	78	1
Vest	L	0,61	72	9
Vest	L	0,61	72	9
Vest	H	0,49	34	11
Øst	V	0,57	44	13
Øst	L	0,24	20	9
Øst	L	0,24	20	9
Øst	H	0,26	28	6
Syd	V	0,64	47	13
Syd	L	0,50	45	13
Syd	L	0,50	45	13
Syd	H	0,58	19	14
Nord	V	0,55	53	11
Nord	L	0,62	51	16
Nord	L	0,62	51	16
Nord	H	0,27	45	5

Maskinelt beregnet omløbstid
Maskinelt beregnede grøntider
Omløbstiden er 120 sekunder

Fase	Grøntid	Mellemtid efter fase
1	30	1
2	26	6
3	14	1
4	36	6

Tilbage Tilbage til projektvalg Udskriv Mellemregninger