



Dynamiske tavler -Vurdering af fremtidige tavlesystemer

VT10

Aalborg Universitet

Torsdag d. 14/6-2007

Titel: Dynamiske tavler – Vurdering af fremtidige tavlesystemer

**Institut for Samfundsudvikling og Planlægning
Vej- og Trafikteknik
Fibigerstræde 11-13
9220 Aalborg Ø**

Projektperiode: 1. februar 2007 – 14. juni 2007

Studieretning: Vej- og Trafikteknik, 10. semester

Studerende: Magnus Vilstrup Andersen

Vejleder: Erik Kjems

Synopsis:

Denne rapport omhandler dynamiske tavler, og tager udgangspunkt i udarbejdelsen af et litteraturstudie beskrivende både nationale og internationale aspekter vedrørende dynamiske tavler og dynamiske tavlesystemer.

Der opstilles samfundsøkonomiske vurderingsrammer for de forskellige dynamiske tavletyper til fremtidig anvendelse som overordnede guidelines ved samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavlesystemer. Grundet manglende danske erfaringsopsamlinger og adfærdsstudier omkring anvendelsen af dynamiske tavler er samfundsøkonomiske vurderinger generelt behæftet med store usikkerheder, og bygger derfor på mange antagelser.

Dynamiske tavlesystemer er vurderet, at kunne anvendes til at forbedre trafikafviklingen og trafikikkerheden ved sammenfletning af sekundære trafikstrømme med primære trafikstrømme ved T-kryds og lignende lokaliteter i Danmark, samt at forbedre trafikafviklingen ved udnyttelse af kapaciteten på et større vejnet specielt omkring de større danske byer.

Det anbefales at gennemføre kontinuerlige erfaringsopsamlinger og adfærdsstudier omkring anvendelsen af dynamiske tavler i Danmark forinden implementering af nye dynamiske tavlesystemer samt inden udførelse af samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavlesystemer.

Oplagstal: 3

Sidetal (inklusive bilag): 90

Afleveret: 14. juni 2007

Forord

Denne rapport er udarbejdet af en studerende på 10. semester fra civilingeniøruddannelsen i Vej- og Trafikteknik ved institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet. Temaet for afgangsprojektet og dermed denne rapport er ”dynamiske tavler”.

Rapporten består af en hoved- og en bilagsdel. Både kapitler og afsnit er i hoveddelen angivet med tal fortløbende. Bilag er betegnet med bogstaver.

Figurer og tabeller i hoveddelen er nummeret med tal efter kapiteloverskriften, hvilket vil sige, at eksempelvis figur 3 i kapitel 2 angives som figur 2.3. I bilagsdelen angives figurer og tabeller med tal efter bilagsbogstavet igennem hele bilagsdelen. Det vil sige, at figur 2 i bilag D angives som figur d.2.

I rapporten angives kilder med forfatterens efternavn og udgivelsesår, som følgende (Efternavn, udgivelsesår). Kendes forfatteren ikke angives i stedet titlen efterfulgt af udgivelsesår. Kilder fra internetsider angives med udgiver og årstal for benyttelse af hjemmesiden (Udgiver, benyttelsesår).

Indholdsfortegnelse

1	ABSTRACT	5
2	INDLEDNING	7
3	ARBEJDSMETODER	9
3.1	LITTERATURSØGNING	9
3.2	STRUKTURERING AF LITTERATUR	9
4	LITTERATURSTUDIE	11
4.1	KVALITATIVE DYNAMISKE TAVLER	12
4.1.1	Kørselsadfærd i relation til aktuel trafikinformation	12
4.1.2	Anvendelse af dynamiske tavler indeholdende aktuel trafikinformation	14
4.1.3	Anvendelse af dynamiske parkeringsinformationstavler	16
4.2	KVANTITATIVE DYNAMISKE TAVLER	17
4.2.1	Hastighedsadfærd	17
4.2.2	Anvendelse af dynamiske hastighedstavler	23
4.3	DYNAMISKE SYMBOLTAVLER	25
4.4	DYNAMISKE TAVLER I DANMARK	26
4.4.1	Dynamiske tavler ved Aalborg	26
4.4.2	Dynamiske tavler på Motorring 3	27
4.4.3	Dynamiske tavler ved Vejle	28
4.5	IT-SYSTEMER BAG DYNAMISKE TAVLER	29
4.5.1	Overordnet systembeskrivelse	30
4.5.2	Dataregistrering	31
4.5.3	Trafikstyringscomputer	34
4.5.4	Dynamiske tavler	35
4.5.5	Opbygning af et konkret IT-system	37
4.6	UDENLANDSKE ERFARINGER	42
4.6.1	Dynamiske informationstavler	42
4.6.2	Dynamiske hastighedstavler	43
4.6.3	Anvendelse af udenlandske erfaringer	44
4.7	SAMMENFATNING	44
5	PROBLEMFORMULERING	47
5.1	PROBLEMAFGRÆNSNING	47
6	SAMFUNDSØKONOMISK VURDERINGSRAMME	49
6.1	BAGGRUND FOR OPSTILLING AF VURDERINGSRAMME	49
6.2	VURDERINGSRAMMENS ELEMENTER	49
6.2.1	Beskrivelse af basisalternativ og projekialternativer	51
6.2.2	Opstilling og værdisætning af relevante effekter og omkostninger	52
6.2.3	Ikke værdisatte effekter	55
6.2.4	Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger	56
6.2.5	Samfundsøkonomiske evalueringskriterier	57
6.2.6	Følsomhedsanalyser	59
6.2.7	Resultatpræsentation	60

6.3	VURDERINGSRAMMENS ENDELIGE STRUKTUR.....	60
6.3.1	<i>Dynamiske hastighedstavler</i>	60
6.3.2	<i>Dynamiske informationstavler</i>	65
6.3.3	<i>Dynamiske advarselstavler</i>	69
6.4	OPSAMLING OG VIDERE ANBEFALINGER	73
7	PERSPEKTIVERING	75
7.1	FREMTIDIGE MULIGHEDER.....	75
7.2	FREMTIDIGE BEGRÆNSNINGER	77
7.2.1	<i>In-car informationssystemer</i>	77
7.2.2	<i>Vurdering af in-car systemer</i>	78
8	KONKLUSION	81
9	REFERENCER	83
BILAG		
A	AFSTAND TIL FASTE GENSTANDE	89

1 Abstract

Dynamic traffic signs, in a national and international context, are described through a literature study. The structure of the literature study is mainly based upon a new categorisation of dynamic traffic signs into qualitative dynamic signs, quantitative dynamic signs and symbolic dynamic signs, covering all types of dynamic traffic signs. Experiences with practical use of the different dynamic signs are described. Driving behaviour towards the dynamic traffic signs and the information provided by the signs are covered as well, where it is possible. Examples are given, with the three main locations in Denmark where dynamic traffic signs are implemented. Finally, the structure and components of IT-technologies used for dynamic sign systems and the international experiences with dynamic signs differing from the Danish experiences are described.

Socio-economic evaluation frames for the three different types of dynamic traffic signs are carried out for future implementations of dynamic traffic sign systems in Denmark. Through the process of carrying out the evaluation frame, it occurred that the consistency and accuracy of these are mainly determined by the performing of future Danish research and studies of experiences with, and driving behaviour towards, the dynamic signs.

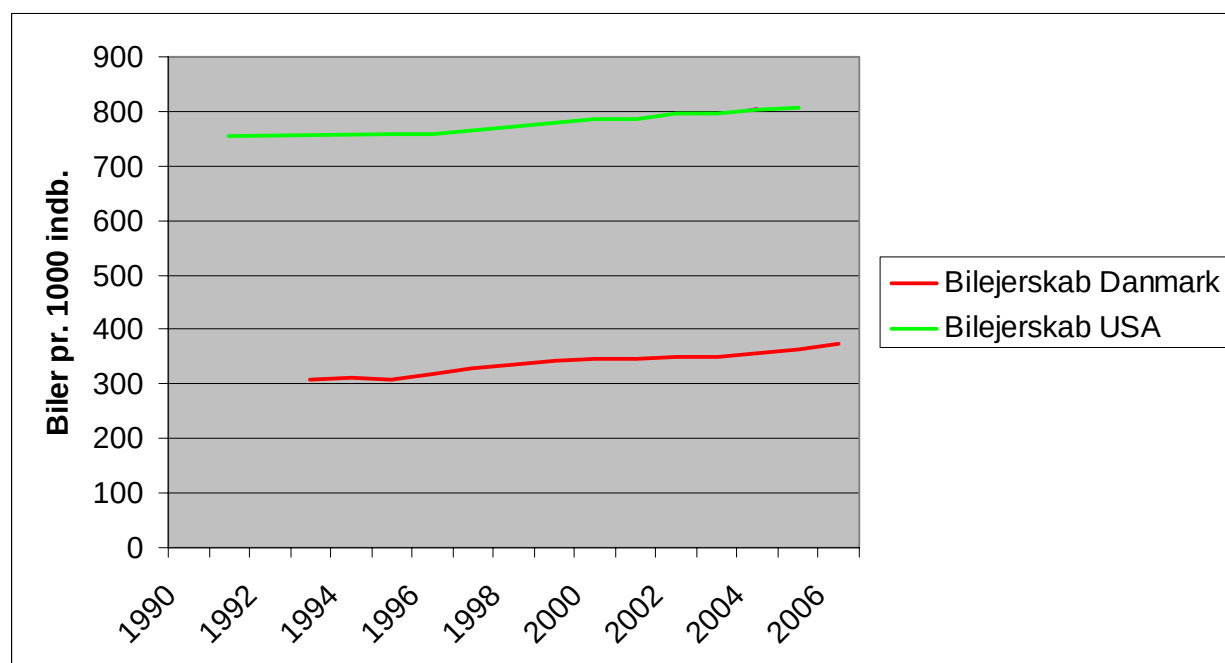
Based upon the assumption that Danish research and studies concerning experiences with, and driving behaviour towards, dynamic signs are carried out, it is finally concluded, that the following mentioned implementations of dynamic signs will succeed in a Danish context:

- Improvements of traffic flow and traffic safety in locations with T-intersections, where a secondary traffic flow has to interweave with a primary traffic flow.
- Improvements of traffic flow by optimizing the use of road capacity from a greater road network to deal with traffic handling, especially nearby the great cities in Denmark.

2 Indledning

Trafik og kørselsadfærd er dynamiske parametre, der konstant ændres og udvikles. Dette medfører stigende krav til vejsystemet og dets funktionalitet. Den fysiske udformning af vejsystemet lægger fundamentet for trafikafviklingen og den udviste kørselsadfærd, men er ikke tilstrækkelig ved dynamisk ændrende forhold såsom variation i trafikintensitet, uheldsforekomst og vejarbejde. Disse faktorer peger i retningen af et mere dynamisk opbygget vejssystem, der i højere grad er gearet til at håndtere varierende trafiksituationer. Det eksisterende statiske vejnet er tilfredsstillende opbygget under normale trafikale forudsætninger, men kommer til kort, når eksempelvis kapacitetsgrænsen for vejnettet er overskredet, eller unormale forhold såsom uheld indtræffer.

Den samfundsøkonomiske udvikling giver husholdningerne et større rådighedsbeløb og derved flere en mulighed for at erhverve en bil (Danmarks Statistik, 2007a), hvilket i høj grad har været en af de medvirkende årsager til den kraftige stigning i trafikken de senere år. Sammenlignes udviklingen i bilejerskabet i Danmark med bilejerskabet i USA, se figur 2.1, ses, at Danmark er langt bagefter i forhold til USA.



Figur 2.1 Udvikling i bilejerskab i henholdsvis Danmark fra 1993 til 2006 og USA fra 1991 til 2005. Udarbejdet på baggrund af (Danmarks Statistik, 2007a), (Danmarks Statistik, 2007c), (Bureau, 2007b) og (Bureau, 2007a).

Der er grundet et lavt bilejerskab i Danmark på knap 400 biler pr. 1000 indbyggere mulighed for yderligere trafikstigninger i fremtiden. Dette medfører, at der i Danmark er en latent efterspørgsel på nye biler, hvilken trinvist bliver indfriet med velstandsstigningen og ved fallende afgifter. Mobilitetsbehovet er ligeledes blevet større, eftersom økonomien tillader og muliggør en øget transport, hvorved det samlede trafikarbejde også er steget (Danmarks Statistik, 2007b). Trafikstigningen på vejnettet forårsager køproblemer og problemer med tæt trafik i et stigende omfang, specielt omkring de større byer i Danmark. Ovenstående argumenter peger i retning af, at trafikstigningerne og derfor de trafikale problemer fortsætter i fremtiden. Intelligente trafiksystemer som dynamisk skiltning er et forholdsvis nyt trafikteknisk område, men meget relevante at drage med ind i denne sammenhæng, da disse kan tilpasses den aktuelle trafikale situation og derved aktivt afhjælpe problematikker i forbindelse med trafikafviklingen.

IT-teknologi bliver anvendt mange steder, men er som omtalt først så småt ved at vinde indpas ved vejsektoren, hvad angår styring af trafikafvikling og håndtering af dynamiske faktorer. Med de store udfordringer vejsektoren i de kommende år står overfor specielt med trafikafviklingen og de kraftige trafikstigninger, er det relevant at undersøge effekterne af en bredere udnyttelse af de nye IT-systemer. Optimering af trafikafviklingen med IT-systemer som dynamiske tavler forventes foruden en forbedring af trafiksikkerheden tillige at medføre sparede rejsetidsomkostninger, hvilket set i et bredt samfundsøkonomisk perspektiv øger de økonomiske fordele.

3 Arbejdsmetoder

Udgangspunktet for denne rapport har været at udarbejde et litteraturstudie indeholdende relevante aspekter, specielt fra udenlandske undersøgelser, til det overordnede emne dynamiske tavler. Emnet er dækket bredt for at opnå et godt kendskab til dynamiske tavler, og de områder disse berører for herved at styrke forudsætningerne for det videre arbejde. Litteraturstudiet munder ud i en problemformulering og afgrænsning, hvor der udvælges en konkret retning for den resterende del af rapporten. De konkrete arbejdsmetoder anvendt til udarbejdelse af litteraturstudiet beskrives følgende.

3.1 Litteratursøgning

Litteraturstudiet bygger primært på en større litteratursøgning i forskellige databaser med ingeniørfaglige artikler og papers. Årsagen til valg af denne type søgning som den primære er, at faglitteraturen omhandlende dynamiske tavler er meget spinkel, og at teknologien omkring og anvendelsen af dynamiske tavler er i konstant udvikling, hvorfor det er nødvendigt hele tiden at blive ajourført med de seneste tiltag. Søgningen er hovedsageligt foretaget i DADS (Digital Artikel Database Service) og i SCOPUS, der er en database indeholdende forskningslitterære artikler. Fælles for de to databaser er, at de er engelsksprogede, både hvad angår brugerfladen til søgning og de artikler, som findes i databasen.

Den sekundære søgning er foretaget på de overordnede vejmyndigheders hjemmesider hovedsageligt for at undersøge udbredelsen af dynamiske tavler i Danmark. Denne søgning har ligeledes til formål at kunne sammenligne Danmark med udlandet ud fra de udenlandske artikler og derved få skabt et overblik over på hvilke specifikke områder, at Danmark ikke er på samme teknologiske højde med andre lande med anvendelsen af dynamiske tavlesystemer, og derfor bør have fremadrettet fokus.

3.2 Strukturering af litteratur

Litteraturstruktureringen er foretaget med programmet EndNote, der netop er udviklet til at holde en struktureret orden på indsamlet litteratur og referencer. Referenceoplysninger om forfatter, årstal for udgivelse osv. blev indtastet sammen med relevante noter og emneord, hvilket muliggjorde en senere søgning blandt de forskellige referencer og herved eksempelvis finde forfatteren til et bestemt citat, der ønskes refereret til i rapporten. Litteraturen er hovedsageligt hentet fra Internettet som PDF, og struktureret i mapper. Hver reference er i

EndNote linket til den tilhørende PDF, således en litteraturtekst hurtig kan fremfindes og nærlæses efter behov.

4 Litteraturstudie

Dette litteraturstudie er som før omtalt en omfattende litteratur- og artikelsøgning i forskellige nationale og internationale artikel- og litteraturdatabaser, samt på relevante hjemmesider fra flere institutioner inden for vejbranchen. Formålet med litteraturstudiet er at indsamle og beskrive både national og international viden om forskellige aspekter vedrørende dynamiske tavler for derved at etablere et vidensfundament til det fremtidige arbejde med dynamiske tavler i Danmark.

Dynamiske tavler er hidtil overordnet blevet inddelt i kvalitative og kvantitative tavler, hvor kvalitative tavler viderebringer informationer i form af en beskrivende tekst, og kvantitative tavler viderebringer information af numerisk karakter. (Jou et al., 2005) Denne opdeling efterlader midlertidigt dynamiske advarselstavler og andre mere konventionelle tavletyper anvendt som dynamiske tavler, da disse hverken indeholder beskrivende tekstinformation eller information af numerisk karakter. En fuldstændig opdeling af dynamiske tavler opnås derfor ved tilføjelse af symboltavler, således den endelige kategorisering af tavler er kvalitative tavler, kvantitative tavler og symboltavler, se eksempel på figur 4.1.



Figur 4.1 Venstre: Kvalitativ tavle, midt: Kvantitativ tavle, højre: Symboltavle

Litteraturstudiet tager følgende udgangspunkt i denne tredeling af dynamiske tavler, og beskriver hvor muligt trafikantadfærd relaterende til tavletyperne, samt hvilke anvendelsesmuligheder der knytter sig til tavlerne. Efterfølgende beskrives danske anvendelser og erfaringer med dynamiske tavler, hvilke IT-systemer der benyttes til styring af tavlerne, samt udenlandske erfaringer med dynamiske tavler der differentierer sig fra de danske anvendelser og erfaringer. Herved ønskes opnået et samlet overblik over dynamiske tavler som et trafikteknisk og trafikplanlægningsområde både internationalt og nationalt.

4.1 Kvalitative dynamiske tavler

Dynamisk tavleinformation indeholdende tekstbeskrivelse er kategoriseret som kvalitativ information. Tavletekst er et bredt begreb, men i en relevant sammenhæng med dynamiske tavler betragtes overordnet to former for kvalitative dynamiske tavler, tavler indeholdende aktuel trafikinformation hovedsageligt relateret til trafikafviklingen, samt parkeringsinformationstavler. Sidstnævnte er også relateret til trafikafvikling, men betragtes alligevel som en separat tavletype, da parkeringsinformation alene henvendes til parkeringssøgende bilister, og derfor differentierer sig væsentligt fra andre trafikafviklingsrelaterede tavler. Forståelsen for den praktiske anvendelighed af dynamiske tavler indeholdende aktuel trafikinformation opnås ved kendskab til bilisters adfærd overfor tavleinformationen, hvorfor denne undersøges forud for beskrivelsen af tavlernes anvendelsesmuligheder.

4.1.1 Kørselsadfærd i relation til aktuel trafikinformation

Information om aktuelle trafikale forhold er oftest knyttet til trafikafviklingen og beskriver unormale trafikale forhold såsom uheld, holdende biler og vejarbejde. Høj trafikintensitet eller reelle køproblemer som følge af unormale forhold på store trafikveje eller motorveje forårsager, at en del af den samlede trafikmængde ad alternative ruter må flyttes til et nærtliggende vejnet, såfremt trafikafviklingen ønskes forbedret. Bilistadfærd omhandlende rutevalg er meget varierende, da mennesker påvirkes forskelligt af samme faktorer, hvorfor det er vigtigt, at finde faktorer i relation til rutevalg som flere bilister reagerer ens på. Dette stiller både krav til at analysere bilisters adfærd med hensyn til ruteafvigelse, og hvad den konkrete skiltetekst med ruteinformationen skal indeholde.

Påvirkelighed overfor ruteafvigelse

Ruteændring kræver, at der er en synlig gevinst tilstede og at bilister, som ønskes flyttet til en alternativ rute, er påvirkelige overfor de gevinster, der er at hente ved at vælge den alternative rute. Adfærdsmønstre hos bilister er meget forskellige, hvad angår ruteafvigelse, men nogle bilistgrupper med samme karakteristika har generelt en tendens til at reagere ensartet på ruteskiltning. Socioøkonomiske faktorer som køn, alder og indkomst har en betydelig indvirkning for påvirkelighed overfor ruteafvigelse. Mænd har generelt en lavere tolerancetærskel til kø end kvinder, og vil vælge den bedste og hurtigste rute for at spare tid og undgå frustrationer over køkørsel. Ældre bilister har modsat de unge oftest indarbejdede kørselsvaner og kører ofte ad fortrukne ruter, hvilket besværliggør at påvirke dem til at ændre kørselsrute. Bilister med en høj indkomst vægter tid og dermed rejsetid højere end bilister med lav indkomst og er meget påvirkelige til at ændre kørselsrute for derved at spare tid. (Jou et al., 2005)

Den største effekt af en anvisning af ruteafvigelse kan opnås på strækninger, hvor kø ofte opstår, i forhold til strækninger hvor kø sjældent forekommer (Zhou and Wu, 2006). Lokalteter hvor der ofte er kø medfører samlet set de største tidsmæssige omkostninger, hvorfor bilister her har et større incitament for at anvende en alternativ rute med færre rejsetidsomkostninger. Ved lokaliteter hvor kø er en sjældenhed, er det samlet set ikke forbundet med de store omkostninger kun en gang imellem at sidde i en kø, hvilket bilister i højere grad også er villige til at acceptere frem for konstant at opleve kø på en lokalitet.

Bilister med en aggressiv køreadfærd har en større tendens til ruteafvigelse i tilfælde af køproblemer end rolige bilister, hvilket skyldes, at rolige bilister i højere grad tager den fornødne beslutningstid til at analysere de reelle fordele ved en ruteafvigelse, og at aggressive bilister ikke har en særlig stor tolerance overfor forsinkelser. (Zhou and Wu, 2006). Køkørsel med meget lavere hastighed end den skilte hastighed kræver tålmodighed og overskud hos den enkelte bilist. Utålmodige og aggressive bilister er derfor villige til at køre ad alternative og længere ruter, såfremt de herved slipper for køkørsel, til trods for at de reelle tidsbesparelser er små.

Trafikradio anvendes flere steder til at informere om uheld og køproblemer for ad den vej at påvirke bilister til i god tid at vælge en alternativ rute og derved minimere omfanget af køproblemer. Bilister der har for vane at høre trafikradio, har en lavere villighed til ruteafvigelse end bilister, der aldrig hører trafikradio, hvilket kunne indikere, at de bilister der hører trafikradio, i forvejen er gode til at overskue et større vejnet og derudfra træffe beslutning om rutevalg. (Zhou and Wu, 2006)

Skilteinformationens indvirkning på ruteafvigelse

Pålidelig, rigtig og opdateret information er nøgleordene for skiltevisning af alternative ruter. Svigtes informationskvaliteten så bilister oplever misvisende skiltevisninger og ikke opnår den forventede gevinst af en ruteafvigelse, mindskes tilliden og opfattelsen af ruteafvigelses-skiltningen. Omvendt vil bilister anvende den alternative rute, såfremt de gentagne gange oplever at kunne drage fordel af at benytte den anviste rute. Brugbarheden af den skilte ruteafvigelse afhænger af informationens konkrete indhold og præcision. (Jou et al., 2005)

Information af kvantitativ karakter har en større indvirkning på bilisters villighed til at ændre rute end kvalitativ information. Dette skyldes, at kvantitativ information opfattes ens af flere bilister end kvalitativ information, der kan tolkes på flere forskellige måder. Numerisk information, eksempelvis angivelse af rejsetid, er kvantitativ, hvorimod mere beskrevende information, eksempelvis tekstbeskrivelse om en trafiksituation, er kvalitativ. Kvantitativ skilteinformation er mest fordelagtig, da flest bilister opfatter denne korrekt, og derved sikrer den bedst mulige udnyttelse af et rutestyringssystem. (Jou et al., 2005)

Realtids trafikinformation er en vigtig men følsom parameter i sammenhæng med bilisters rutevalg. Dynamiske trafikale forhold styres bedst med anvendelse af realtids trafikinformation, men kræver som nævnt at informationerne er pålidelige og troværdige. Vundet eller tabt tid i forhold til den skilte realtidsinformation har stor betydning for bilisters opfattelse af informationens troværdighed, og derved hvorvidt de benytter sig af en skiltet alternativ rute. Præcis estimering af rejsetid ad forskellige ruter er kompliceret at opnå grundet uforudsigeligheden i dynamiske trafikale forhold. Overestimering af rejsetider er at foretrække, da bilister herved får en opfattelse af, at de ved reel kørsel vinder tid i forhold til den skilte, hvorimod underestimerede rejsetider har den modsatte effekt. (Jou et al., 2005)

Ruteinformation har en stor effekt på bilister, som er vant til at færdes i det netværk, hvor informationen bliver givet. Effekten af informationen og afvigelsesfleksibiliteten stiger, desto større bilisternes kendskab er til vejnettets opbygning. (Zhou and Wu, 2006) Dette indikerer, at bilister som jævnligt benytter vejnettet har nemmere ved at overskue, hvorvidt det er en fordel at benytte en alternativ rute, og derved i højere grad vil afvige fra deres oprindelige rute i tilfælde af kø.

4.1.2 Anvendelse af dynamiske tavler indeholdende aktuel trafikinformation

Trafikinformation er et vidt begreb, og dækker over både statisk og dynamisk information. Statisk information er den konstante information, som bilister modtager både fra selve vejen (geometrien) og fra vejens udstyr (skilte og afmærkning). Dynamisk information er derimod en supplerende information til den statiske, og kan anvendes til at informere om unormale forhold, bilisterne skal tage højde for. Det dynamiske aspekt gør, at dynamiske informationstavler er ideelle til både at viderebringe serviceinformation og information af sikkerhedsmæssig karakter, eksempelvis i tilfælde af et trafikuheld. I samspil med dynamiske hastighedstavler kan dynamiske informationstavler yderligere bidrage til at øge troværdigheden af den dynamiske skiltning, da det er muligt at supplere en evt. sænkning af hastighedsgrænsen med forklarende information om, hvorfor hastighedsgrænsen er sænket, se figur 4.2.



Figur 4.2 Eksempel på dynamisk informationstavle i kombination med dynamiske hastighedstavler (Vithen and Kjemtrup, 2005).

Kvalitative informationstavler formidler som omtalt et budskab i tekstform til bilister om forskellige og aktuelle trafikale situationer. Budskaberne varierer fra serviceinformation om eksempelvis ruteanvisning til information om akutte opståede hændelser såsom trafikuheld. Kvalitativ serviceinformation kan eksempelvis være beskrivelse af ruteanvisning eller information om vejarbejde og deraf afledte gener som kødannelse. Kvalitativ information tolkes i visse situationer forskelligt i modsætning til kvantitativ information, der grundet en større enkelthed i mindre grad misfortolkes (Jou et al., 2005). Udformningen af tekstindholdet på dynamiske informationstavler er derfor afgørende for, hvorvidt budskabet tolkes korrekt, og om anvendelsen af tavlerne herved opnår den ønskede effekt (Wardman et al., 1997).

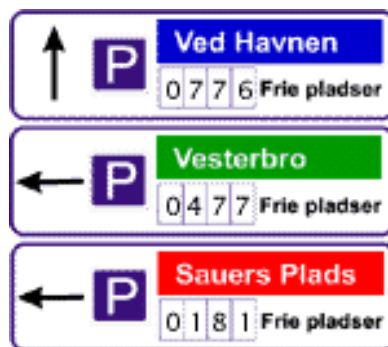
Vejstrækninger, der i samlede Vejnet er potentielle flaskehalse ved høj trafikintensitet, er følsomme overfor forhold som uheld og vejarbejde. Dynamiske informationstavler er i disse situationer oplagte at anvende, da de kan anviser alternative ruter på vejnettet og minimere køproblemer eller helt afhjælpe, at der opstår kø. Dette kræver, at informationen på tavlerne er præcis og troværdig, samt at bilisterne samlet set opnår et reelt udbytte af en ruteomlægning. Et andet lignende aspekt ved brug af dynamiske informationstavler er, at trafik kan flyttes fra veje uden restkapacitet til veje med restkapacitet, hvilket specielt er en fordel for trafikafviklingen i og omkring større byer. (Messmer et al., 1998) Der opnås herved en samlet set bedre udnyttelse af vejnettet og en minimering af problematikkerne med høj trafikintensitet på de største hovedfærdselsårer. Trafikken kan glide mere flydende ved anvendelse af vejnettet som helhed til trafikafvikling og derfor medføre samlede tidsbesparelser. Trafikafviklingen vil kunne foretages mere effektivt og tilføre vejnettet et nyt dynamisk aspekt ved

brug af dynamiske informationstavler til styring af rutevalg, hvilket dog forudsætter en omfattende implementering af et dynamisk informationstavlesystem på et stort vejnet. Der kræves grundige overvejelser om, hvorledes informationen beskrivende en alternativ rute skal skiltes til bilisterne, samt hvilke alternative ruter der kan anvendes for at kunne implementere et velfungerende trafikafviklingssystem med dynamiske informationstavler. Sikkerheds- og miljømæssige overvejelser bør lægges til grund for udpegning af vejstrækninger, som ønskes anvendt til alternative ruter, da den mertrafik disse vejstrækninger får tillagt, ikke må resultere i uacceptable konsekvenser for nærmiljøet.

Rejsetidsinformation og information om forsinkelser er med til at påvirke bilisters rutevalg, eftersom tid er en af de afgørende faktorer for rutevalg, og mange bilister derfor er villige til at køre en omvej, såfremt der kan opnås en tidsbesparelse. Korrekt anvendelse af dynamiske informationstavler kan lede bilister ad bestemte og ønskede ruter, således trafik ad uønskede ruter undgås. (Messmer et al., 1998) og (Vithen et al., 1995) Bilister prioriterer information om tidsforsinkelse højere end rejsetidsinformation, hvilket indikerer, at der ligger en udfordring i at flytte bilister fra deres oprindeligt bestemte rute og over til en anden rute (Wardman et al., 1997). Kommunikationen af tidsbesparelser med dynamiske informationstavler ved anvendelse af alternative ruter er afgørende for, hvor stor en trafikmængde der kan flyttes til alternative ruter.

4.1.3 Anvendelse af dynamiske parkeringsinformationstavler

Parkeringsinformation er en anden type af serviceinformation, der kan formidles til bilister med dynamiske tavler og anvendes oftest til at informere om antallet af ledige pladser på forskellige parkeringspladser, se figur 4.3. Denne type af information benyttes hovedsageligt i de større byer og skiltes på de større veje, typisk indfaldsveje, for at styre den overordnede parkeringssøgende trafik direkte hen hvor den ønskes og derved minimere det samlede trafikarbejde i byerne (Andersen et al., 2006). Dynamisk parkeringsinformation kan både være af kvalitativ og af kvantitativ karakter. Det kvalitative aspekt består i, at informationen guider bilister til parkeringspladser med ledig kapacitet ved hjælp af tekst og rutebeskrivelse og det kvantitative aspekt i, at bilister modtager information om antallet af ledige pladser på forskellige parkeringspladser, og derudfra træffer beslutning om anvendelse af parkeringslokalitet. Informationen skal ligeledes som for andre typer af dynamiske tavler være meget præcis, da pålideligheden af parkeringssystemet afhænger af, hvorvidt den enkelte bilist bliver ledt hen til en ledig parkeringsplads. Dette stiller også krav til gennemskueligheden og brugervenligheden af parkeringssystemets opbygning for at få bilisterne ledt hen til de rigtige parkeringspladser.



Figur 4.3 Dynamiske tavler med P-info (Aalborg Kommune, 2007).

Dynamiske tavler med information om antallet af ledige pladser på en parkeringsplads påvirker bilisters rutevalg og dermed valg af parkeringsplads, men anvendelsen af skiltene afhænger af, hvor mange andre informationer bilisterne modtager under kørslen (Hester et al., 2002). Eftersom parkeringssøgende trafik påvirker kødannelse specielt i byer, er det muligt at forbedre den generelle trafikafvikling ved at reducere den parkeringssøgende trafik med avancerede parkeringsstyringssystemer (Hester et al., 2002) og (Bonsall and Palmer, 2004). Parkeringsinformationssystemer påvirker i højere grad parkeringsadfærden for bilister, der ikke er kendte i det pågældende område, og derfor ikke besidder specifikke præferencer for bestemte parkeringspladser, end bilister der er vant til at færdes i området. Parkeringsadfærd er mere kompleks end en antagelse om, at bilister træffer beslutning om parkeringslokalitet udelukkende på baggrund af et parkeringsinformationssystem, da faktorer som pris, parkeringsrestriktioner, gangafstand og stedbundethed ligeledes har en stor indvirkning (Bonsall and Palmer, 2004).

4.2 Kvantitative dynamiske tavler

Dynamiske tavler indeholdende udelukkende numerisk information er betegnet kvantitative, hvilket her indsnævres til at omhandle dynamiske hastighedstavler. Andre dynamiske tavletyper med numerisk information såsom parkeringsinformation har en supplerende og forklarende tekst knyttet til den numeriske værdi, og er derfor kvalitative dynamiske tavler. Forståelse for og anvendelsen af dynamiske hastighedstavler forudsætter en forudgående viden om hastighed og bilisters hastighedsadfærd, da denne i høj grad er anvendelig for opnåelse af en ønsket implementeringseffekt.

4.2.1 Hastighedsadfærd

Mennesker er selvstændige individer, der tænker, handler og påvirkes forskelligt, hvorfor der ved analyse og beskrivelse af bilisters hastighedsadfærd skal tages højde for både de forskelligheder og ligheder, der er ved menneskers adfærd. Bilister påvirker hinanden psykisk gen-

nem den kørselsadfærd, der udvises, hvilket skaber en vekselvirkning grundet den gensidige påvirkning, der opstår. Den fysiske påvirkning sker i stedet inden for rammerne og begrænsningerne opsat af både vejsystemets og bilernes tekniske design. Følgende beskrives både den psykiske og fysiske påvirkning af bilisters hastighedsadfærd, hvilket skal danne et forståelsesgrundlag for påvirkningsmuligheder af denne adfærd til brug ved anvendelse og implementering af dynamiske hastighedstavler.

Vejenes indflydelse på hastighedsvalg

Bilisters hastighedsadfærd hænger meget nøje sammen med vejnettets udformning, og den information de modtager fra trafiksystemet. Det er derfor vigtigt, at den geometriske udformning af vejnettet afspejler den information, der gives til bilisterne, og at der er en logisk sammenhæng mellem udformning og den ønskede trafikale adfærd. Vejgeometrien spiller specielt en stor rolle, hvad angår bilisters hastighedsvalg. En lang lige strækning med gode oversigtsforhold indbyder til høj hastighed, hvorimod en skarp kurve med dårlige oversigtsforhold signalerer et lavere hastighedsvalg. (Herrstedt, 2003) Traceringen af nye vejanlæg skal så vidt muligt afspejle den ønskede hastighed på de enkelte delstrækninger, og ellers justeres med skiltning eller andet udstyr, således bilisterne ledes enkelt, logisk og sikkert igennem vejanlægget. Vejreglerne sikrer i en vid udstrækning, at vejgeometrien lever op til den ønskede hastighed ved overholdelse af minimumsradier for både horisontal- og vertikalgeometrien under hensyntagen til oversigtsforhold (Vejdirektoratet, 1999b). Traceres vejene ud fra vejreglernes anbefalinger, er det sikkerhedsmæssigt forsvarligt at køre med den skilte og ønskede hastighed, hvilket også vil forekomme naturligt, da der i så fald vil være en passende sammenhæng mellem hastighed og den geometriske udformning.

Eksisterende ældre vejanlæg hvor traceringen i højere grad er foretaget under hensyntagen til landskabets udformning frem for den ønskede hastighed og trafiksikkerhed, er der, hvor bilisters hastighedsvalg udgør en speciel stor risiko. Denne sikkerhedsmæssige risiko forstærkes, såfremt informationen, herunder skiltningen og afmærkningen, giver bilisterne et forkert signal om den aktuelle udformning af vejanlægget, eller helt mangler. Utilstrækkelige oversigtsforhold i relation til den tilladte hastighed er ofte det største problem med traceringen af de eksisterende vejanlæg. I tilfælde af reelle sikkerhedsmæssige risici på et eksisterende vejanlæg forårsaget af inkonsistens mellem tracering og tilladt hastighed forefindes forskellige løsningsmetoder alt efter den konkrete problemstilling. Den mest øjensynlige løsning er at sænke hastighedsniveauet gennem skiltning med en lavere tilladt hastighed overensstemmende med vejgeometrien. Informations- og advarselsskilte kan, som vist på figur 4.4 også anvendes til at informere bilister om at være særligt opmærksomme på hastigheden i forhold til vejens udformning.



Figur 4.4 Venstre: Vejstrækning med skilte til at understrege en farlig traceret kurve. Højre: Vejstrækning uden skilte og med en farlig traceret kurve.

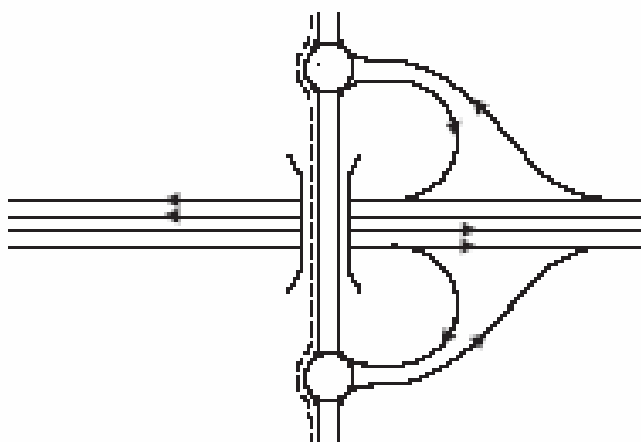
Fysiske faktorer der også påvirker hastighedsvalget, er faste genstande langs med vejene, eksempelvis vejtræer. Hastigheden ved kollision mellem et køretøj og en fast genstand er afgørende for omfanget og alvorlighedsgraden af uheld af denne type, hvorfor specifikke afstandskrav for faste genstande er opsat, se bilag A (Vejdirektoratet, 1999a). Kravene er fremsat som en norm for nye vejanlæg med enten nye eller eksisterende påkørselsfarlige genstande og for nye genstande ved eksisterende veje. Eksisterende genstande ved eksisterende veje er kun underlagt retningslinier beskrivende, at disse bør, og ikke nødvendigvis skal overholde de opstillede afstandskrav. Afstanden fra faste genstande til selve vejkonstruktionen har stor betydning for bilisternes hastighedsvalg, da genstande tæt på vejen får det rummelige tværprofil til at virke smalt, se figur 4.5. Bilister vil af den årsag forbinde en høj hastighed med en stor sikkerhedsmæssig risiko og vælge en lavere hastighed end på en tilsvarende vejstrækning uden faste genstande tæt på vejen. Et andet lignende aspekt er, at vejtræer der eksempelvis står i en kort afstand til vejen og med en kort indbyrdes afstand, er med til at forstærke bilisternes opfattelse af deres hastighed og får denne til at virke hurtigere, end hvis træerne er placeret langt fra vejen og med en stor indbyrdes afstand. (Herrstedt, 2003)



Figur 4.5 Venstre: Vejstrækning med faste genstande tæt på kørebanen. Højre: Vejstrækning uden faste genstande.

Undervurdering af hastighed

Undervurdering af hastigheden er en generel tendens, mange bilister påvirkes af, og skyldes forskellige forhold som fartblindhed, øget komfort, lavere støjniveau og flere sikkerhedssystemer i bilerne. Fartblindhed er et begreb, mange bilister kender til, og fremkommer ved først at køre med en høj hastighed eksempelvis på en motorvej og dernæst køre med en lavere hastighed på en landevej, hvilket forholds-mæssigt virker langsommere, end hvis den modsatte situation fra lavere hastighed til højere hastighed er tilfældet, da kørselsadfærden i den første situation er tilpasset den højere hastighed (Herrstedt, 2003). Et lignende eksempel er ved motorvejsfrakørselsramper til et såkaldt B-anlæg, hvor hastigheden hurtigt skal nedbringes grundet skarpe kurver på rampen, hvilket grundet den høje hastighed på motorvejen forårsager fartblindhed og derved problemer med tilstrækkelig nedbringelse af hastigheden inden kurverne, se figur 4.6.



Figur 4.6 Skitse af et B-anlæg (Vejdirektoratet, 2005)

Bilister har en større tendens til, at undervurdere hastigheden ved deceleration end ved acceleration (Recarte and Nunes, 1996). Sammenlignes denne tendens med begrebet fartblindhed ses en tydelig sammenhæng, da fartblindhed er ved en deceleration fra en højere hastighed til en lavere hastighed, hvor bilister underestimerer hastigheden. Den øgede komfort, det lavere støjniveau og sikkerhedssystemerne de nye biler udstyres med, er i høj grad også med til, at bilister undervurderer hastigheden. Motorstøjen fra en bil forstærker hastighedsopfattelsen, hvorfor hastigheden i en ny bil med et lavt støjniveau opleves lavere end i en gammel og mere støjende bil. Sikkerhedssystemer og en øget komfort i nye biler giver bilisterne en falsk tryghed, da høj hastighed i en ny bil ikke opleves nær så farligt som i en ældre bil, hvorfor respekten for høj hastighed herved mindskes. Hastighedsadfærden ændres derfor også i takt med bilernes udvikling og forbedring.

Bilisters hastighedsopfattelse er et vigtigt aspekt ved forståelsen af hastighedsadfærd. Bilister har generelt en tendens til at undervurdere deres hastighed, både når de som passagerer skal estimere, hvilken hastighed de kører, og som fører af en bil skal vurdere deres hastighed. Underestimeringen som passagerer er gennemsnitligt omkring 15 km/t og som fører af bilen på 13 km/t. Kørselserfaring har ingen indflydelse på hastighedsopfattelse, hvilket ellers burde være tilfældet, da en ældre og mere erfaren bilist skulle have et større vurderingsgrundlag end en ny og uerfaren. (Recarte and Nunes, 1996) Konsekvenserne ved underestimering af hastigheden er selvsagt store, da alvorlighedsgraden af færdselsulykker stiger med størrelsen af hastigheden.

Hastighedsoverskridelse

Den generelle samfundsudvikling, hvor tiden er utrolig kostbar og får tillagt en stigende værdi, gør, at mange har en stressende hverdag, hvilket som andre steder smitter af på adfærden i trafikken. Tålmodigheden er nedadgående og irritationer over andre bilisters adfærd resulterer ofte i en aggressiv kørestil med for høj hastighed og andre hasarderede handlinger. Mandlige bilister er mest aggressive, og er oftere tilbøjelige til at overtræde færdselsloven end kvindelige, der generelt er mere forsigtige og fornuftige. Hastighedsniveauet er størst hos bilister, der årligt kører mange kilometer, hvilket kunne tyde på, at hastighedsoverskridelse er en vanedannende adfærd. Bilister der kører i firmabiler, kører også stærkere og mere risikabelt end andre, da de rent finansielt ikke bliver ramt nær så hårdt ved et uheld som andre bilister, og grundet at de ofte kører mange kilometer årligt. (Pelsmacker and Janssens, 2007)

Hastighedsoverskridelse er en lovovertrædelse ligesom spirituskørsel, og hvor det i Danmark er lykkedes gennem kampagner og holdningsændring at nedbringe spirituskørsel, er dette desværre ikke tilfældet for hastighedsoverskridelser. Det er specielt den generelle holdningsændring omkring spirituskørsel, der har gjort det store udfald, da det er blevet helt uacceptabelt at køre bil i spirituspåvirket tilstand. Normen omkring spirituskørsel er også, at der skal

skrides ind over for bilister, lige så snart de påtænker at køre spirituspåvirket. Det er med andre ord populært at køre i ædru tilstand som hovedparten og decideret upopulært at køre spirituspåvirket. Bilister er mere tilbøjelige til at overholde hastighedsgrænsen, hvis andre bilister også overholder hastighedsgrænsen, og påvirkes derfor af, hvad der er normen. (Larsen, 2005) Hastighedskampagner kan ud fra dette med fordel fokusere på de sociale normer omkring overholdelse af hastighedsgrænser og arbejde for, at det bliver populært at overholde hastighedsgrænserne og derimod upopulært at overskride dem.

Mennesker er socialt påvirkelige, hvorfor adfærdsmønstre kopieres og kan medføre, at uhenigtsmæssige handlinger adopteres. Dette opleves ofte i trafikale situationer, eksempelvis hvor bilister uden en intention om at køre for stærkt følger en forankørende bilist, der netop kører for stærkt. Argumentet for en sådan handling er typisk, at "når den anden må, så må jeg også", hvilket dermed legitimerer en uhenigtsmæssig handling. Normer og vaner påvirker i høj grad bilisters adfærd og attitude overfor hastighedsoverskridelse. Andre bilisters adfærd påvirker den enkelte bilists adfærd, og vanedannelse og intentioner til hastighedsoverskridelse påvirker den aktuelle adfærd. Forebyggelse mod hastighedsoverskridelse kræver derfor en ændring af bilisters normer og vaner fra en tidlig alder, hvilket eventuelt allerede kunne ske i folkeskolen gennem undervisning i grundlæggende trafiksikkerhed, da normer og vaner er nemmere at forme og præge hos børn end voksne. (Pelsmacker and Janssens, 2007)



Figur 4.7 Eksempel på "din fart" skilt (Larsen, 2005)

Hastighedsmåling er meget anvendt ved trafiksikkerhedsarbejde, hvor hastigheden på en vejstrækning ønskes sænket. De såkaldte "din fart" skilte, se figur 4.7, der måler og angiver bilisternes hastighed, er i denne forbindelse meget effektive i en aktuel situation. Bilister har en vis respekt for disse skilte, og føler sig overvåget, når deres aktuelle hastighed bliver registreret og vist på et skilt. Denne opfattelse forstærkes af, at der ofte er gule advarselslamper på skiltene, som blinker ved for høj hastighed. Skiltene er ofte kun midlertidige, og har kun

en effekt, så længe de er i funktion, hvorfor de ikke er optimale til en permanent løsning til en nedsættelse af hastighedsniveauet. Dette forstærkes også af, at bilister med tiden vænner sig til skiltene og derved mister respekten for disse, når de ikke oplever en egentlig konsekvens af at passere skiltet med for høj hastighed. (Ullman and Rose, 2005) og (Larsen, 2005)

Hastighedskompensering

Hastighedskompensering er en adfærd, der skal tages højde for ved hastighedsplanlægningen. Kompenseringen består i, at en bilist som over en strækning ufrivilligt nedsætter sin rejsehastighed, efterfølgende vil forsøge at kompensere for den derved tabte tid, ved så snart det er muligt at køre stærkere end tilladt. En lokal dynamisk hastighedsbegrænsning grundet enten vejarbejde eller vejrlig er effektiv til at nedsætte hastigheden lokalt, hvor skiltningen er gældende, men set i et større perspektiv er den ikke effektiv. Årsagen til dette er den forømtalte kompensering, ved at bilister kører for stærkt, efter at de har passeret et område med en dynamisk hastighedsnedsættelse. I visse tilfælde kan der derfor argumenteres for, at en lokal dynamisk hastighedsnedsættelse samlet set har en negativ indvirkning på trafiksikkerheden. (Boyle and Mennering, 2003) Hastighedskompensering er en adfærd, der ikke helt kan undgås. Bilister planlægger ofte deres turstart ud fra en forventet rejsetid, hvorfor forsinkelser undervejs, såsom strækninger med nedsat hastighed, naturligt vil blive kompenseret for, ved på den resterende del af turen at indhente den tabte tid og derfor foretage hastighedsoverskridelser.

4.2.2 Anvendelse af dynamiske hastighedstavler

Trafikteknikere er, og har i flere år været engageret i forsøg med og brugen af dynamiske skilte specielt i udlandet indenfor en bred vifte af anvendelsesmuligheder. Dynamiske hastighedstavler muliggør en mere kompleks trafikregulering med en lang række af fordele i forhold til de statiske hastighedstavler. Trafikken og de trafikrelaterede forhold såsom vejrlig er dynamiske og ændrer sig hele tiden. En naturlig følge heraf vil derfor være, at vejtaavler også bør være dynamiske, således de kan tilpasses den dynamiske kontekst, trafikrelaterede forhold udgør. Færdselsloven foreskriver, at der skal køres efter de givne forhold, hvilket betyder, at der til trods for den tilladte skiltede hastighed kan opstå forhold, der nødvendiggør en lavere hastighed end skiltet og en mere forsigtig kørsel. Et mere dynamisk trafiksystem med dynamiske skilte vil kunne hjælpe og guide trafikanterne til en mere fornuftig og sikker kørselsadfærd, og derved træffe beslutningerne for trafikanterne i de tilfælde hvor specielle forhold gør, at den statiske skiltning er utilstrækkelig at følge.



Figur 4.8 Eksempel på en dynamisk hastighedstavle (Vägverket, 2006)

Afhjælpning af trafikafvikling

Hovedargumenterne for implementering af dynamiske hastighedstavler er enten af trafiksikkerhedsmæssig eller af trafikafviklingsmæssig karakter. Trafikafviklingen kan afhjælpes i specielt to forskellige situationer med dynamiske hastighedstavler. Enten når en sekundær trafikstrøm skal flettes sammen med en primær trafikstrøm, eller ved køproblemer grundet en høj trafikintensitet. Sammenfletning af en sekundær trafikstrøm med en primær trafikstrøm kan foregå på forskellige måder, eksempelvis ved et trebenet kryds, en buslomme samt et rampeanlæg. Dynamiske hastighedstavler kan ved at nedsætte hastighedsniveauet for den primære trafikstrøm, såfremt en sekundær trafikstrøm er tilstede ved indfletningen, effektivt afhjælpe indfletningsproblemer, da indfletning oftest er lettere ved en lavere hastighed. (Vägverket, 2006)

Høj trafikintensitet og deraf følgende køproblemer opstår oftest i spidstimerne i og omkring de større byer. Dynamiske hastighedstavler kan bidrage til at sikre en bedre trafikafvikling ved at sænke det generelle hastighedsniveau i spidstimerne, hvor trafikintensiteten og dermed risikoen for kødannelse er højest. Kørselsadfærd spiller i denne sammenhæng en stor rolle, da effekten af de dynamiske hastighedstavler afhænger af, hvorvidt hastighedsskiltningen bliver overholdt. Mange køer opstår og forværres af, at bilisterne har en ustabil kørsel med hårde opbremsninger og en for lille afstand til forankørende, hvorfor en mere jævn og stabil kørsel vil give en langt bedre trafikafvikling. (Smulders, 1990) En anden type af kø er en såkaldt forsynings kørsels kø, der dannes enten på grund af trafikuheld eller vejarbejde. Implementering af dynamiske hastighedstavler kan ligeledes her bidrage til en mindsning af køens omfang, hvorved risikoen for kollisioner også minimeres, da hastigheden kan sænkes jævnt hen til uheldet/vejarbejdet i stedet for, som uden dynamiske hastighedstavler, at hastigheden skal mindskes over en kort afstand, når bilisterne selv registrerer, at der er en

uhelds/vejarbejderrelateret kø forude. (Zhicai et al., 2004). Et nyere begreb inden for problematikken omkring køafvikling er de såkaldte shock waves, der er et udtryk for den opstuvning, der sker bagud i forhold til kørselsretningen, ved en høj trafikintensitet. Shock waves kan minimeres med en forudsigende styring af dynamiske hastighedstavler. Med en forudsigende styring menes en styring, hvori der er programmeret en forudsigelsesmodel, der kan forudse, hvornår køproblemer opstår og derved nå at sænke hastighedsniveauet med dynamiske hastighedstavler inden køen reelt opstår. Den samlede rejsetid på en strækning med køproblemer kan med en sådan forudsigende styring reduceres med 17,3 % (Hegyi et al., 2005).

Forbedring af trafiksikkerheden

Anvendelse af dynamiske hastighedstavler til uheldsforebyggelse, hvor hastighedsgrænsen nedsættes de tidspunkter, der i real tid er observeret sandsynlighed for, at trafikuheld indtræffer, har en minimerende effekt på trafikuheld. Effekten af de dynamiske hastighedstavler er størst såfremt hastighedsgrænserne ændres med hastighedsintervaller, svarende til ca. 10 km/t og af minimum 10 minutters varighed. Hen til en lokalitet med stor uheldsrisiko i spidstimen skal hastigheden nedsættes med intervaller af ca. 30 km/t, og tilsvarende øges væk fra lokaliteten, hvilket skal ske over en kort strækning på ca. 3 km. Hastighedsnedsættelsen har også en positiv effekt på trafikafviklingen udenfor spidstimerne, da der også her sikres en mere jævn trafikafvikling. (Abdel-Aty et al., 2005)

Risikoen for og alvorlighedsgraden af uheld ved lokaliteter hvor en sekundær trafikstrøm skal sammenflettes med en primær trafikstrøm mindskes også ved implementering af dynamiske hastighedstavler grundet det nedsatte hastighedsniveau ved indfletningssituationerne. (Vägverket, 2006)

4.3 Dynamiske symboltavler

Konventionel skilteinformation kan ligeledes viderebringes med dynamiske symboltavler, se figur 4.9. Der er herved stort set ingen begrænsning for hvilken skiltning, der kan vises med dynamiske tavler. Dynamisk skiltning kontra statisk skiltning forudsætter dog, at den statiske skiltning er utilstrækkelig grundet dynamiske forhold, da en implementering og investering i dynamisk skiltning ellers vil være overflødig og påføre unødvendige udgifter til samfundet (Vejdirektoratet, 2006b). Vigtigheden af implementering af den dynamiske skiltning skal derfor nøje vurderes i hvert enkelt tilfælde, og vil med stor sandsynlighed sætte en naturlig grænse for, hvilke skilte der i praksis vil blive anvendt som dynamiske tavler.



Figur 4.9 Eksempel på konventionel skiltning på dynamisk skilt (VMS Limited, 2007)

Advarselstavler er den konventionelle tavletype, som oftest anvendes til dynamisk skiltning, hvilket blandt andet hænger sammen med, at denne skiltning er af sikkerhedsmæssig karakter, og at den aktuelle sikkerhedsrisiko tavlerne refererer til, ofte er variabel over tid. Troværdigheden overfor advarselsskilte vil generelt kunne forbedres, såfremt disse er dynamiske, da forholdende/hændelserne ikke altid er statiske. Eksempelvis skiltes der på et advarselsskilt advarende om vilde dyr om en relativt sjældent forekommende hændelse, som den enkelte bilist med stor sandsynlighed aldrig kommer til at opleve, hvorved det aktuelle skilt mister den ønskede advarselseffekt. En anden fordel ved anvendelse af dynamiske skilte frem for konventionelle er, at bilister i højere grad erkender de dynamiske skilte, da disse ofte er lysende displays, og derfor automatisk tiltrækker mere opmærksomhed end de konventionelle statiske skilte. (Sisiopiku and Elliott, 2005)

4.4 Dynamiske tavler i Danmark

Beskrivelsen af de forskellige dynamiske tavletyper hovedsageligt med udgangspunkt i udenlandske undersøgelser og erfaringer leder hen til en afklaring af, hvilke konkrete anvendelser af dynamiske tavler der eksisterer i Danmark. Afklaringen konkretiseres til de tre overordnede anvendelser af dynamiske tavler i Danmark henholdsvis ved Aalborg, Motorring 3 og omkring Vejlefjordbroen.

4.4.1 Dynamiske tavler ved Aalborg

Vejnettet omkring Aalborg er udstyret med forskellige dynamiske skiltesystemer både på motorvejsnettet ved Limfjordstunnelen og på det overordnede vejnet både nord og syd for byen og dermed Limfjorden. Dynamiske hastighedsskilte er placeret ved motorvejen både fra nord og fra syd hen til Limfjordstunnelen for af flere årsager at kunne regulere hastighedsniveauet, se figur 4.10. I tilfælde af enten vejarbejde, uheld eller høj trafikintensitet i spidsti-

merne kan hastighedsniveauet omkring tunnelen nedsættes i forhold til de 90 km/t, der under normale omstændigheder er den tilladte hastighedsgrænse. Inde i, og i umiddelbar nærhed af, tunnelen er dynamiske tavler placeret over hvert kørespor til at kunne informere bilisterne om eventuelt lukkede kørespor i forbindelse med vejarbejde eller oprydning efter uheld, og hvilke kørespor der i så fald er farbare. Lukkede kørespor skiltes med et rødt kryds og farbare kørespor er markeres med en grøn pil, se figur 4.10. (Vithen et al., 1995)



Figur 4.10 Venstre: Dynamiske tavler ved Aalborg til køresporslukninger. Højre: Dynamiske hastighedstavler ved Aalborg.

Der er ved motorvejen og det overordnede vejnet både syd og nord for Limfjorden opsat dynamiske tavler indeholdende ventetidsinformation og rutevejledning over henholdsvis Limfjordsbroen og Limfjordstunnelen, der er de eneste krydsningsmuligheder over Limfjorden for bilister i nærheden af Aalborg. Det overordnede formål med de dynamiske informationskilte var, at forbedre udnyttelsen af den samlede kapacitet over Limfjorden og at informere om ventetid og derved angive den hurtigste rute over Limfjorden i tilfælde af vejarbejde. (Vithen et al., 1995)

Der er kun foretaget én evaluering af det dynamiske tavlesystem i Aalborg, som blev udført ca. et halvt år efter, at tavlerne blev opsat i 1994. Evalueringen viste, at ca. 15-25 % af de fjordkrydsende bilister ændrede deres rute som følge af skiltene. De dynamiske informationstavler indeholdende rutevejledning var en del af de EU-støttede Quo Vadis projekt, der også omfattede et lignende projekt i Skotland. Forsøgsperioden blev forlænget af Vejdirektoratet og strakte sig derfor ca. over et år. (Vithen et al., 1995) Tavlerne er ikke længere i funktion.

4.4.2 Dynamiske tavler på Motorring 3

Vejdirektoratet har i forbindelse med udvidelsen af Motorring 3 fra fire til seks spor valgt at opsætte både dynamiske hastigheds- og informationstavler på store skilteportaler for at af-

hjælpe trafikafviklingen i anlægsperioden fra 2005 til 2008, se figur 4.11. Det er hensigten, at tavlerne bevares efter anlægsarbejdet til fortsat afhjælpning af trafikafviklingen. Hastighedstavlerne sikrer et passende hastighedsniveau ud fra de givne trafikale forhold, hvorimod informationstavlerne tjener flere formål. Informationstavlerne, der består af store tekstdisplays, kan anvendes til forskellige typer af trafikale information, men benyttes hovedsageligt til at informere om opståede hændelser såsom uheld, holdende bil osv., samt at videregive rejsetidsinformation og information om forsinkelser. Forståeligheden af den dynamiske skiltning er forsøgt sikret ved et samspil mellem hastighedsskiltene og informationsskiltene, hvor en hastighedsnedsættelse suppleres med en forklarende tekst om årsagen til nedsættelsen. (Vithen and Kjemtrup, 2005)



Figur 4.11 Dynamiske tavler på Motorring 3 (Vithen and Kjemtrup, 2005)

Foruden skiltningen på selve motorring 3 er der på de tilstødende veje opsat dynamiske informationsskilte til at informere om rejsetider og i tilfælde af uheld eller lignende hændelser at informere om, at motorvejen er spærret. (Vejdirektoratet, 2007b)

4.4.3 Dynamiske tavler ved Vejle

Motorvejen ved Vejlefjordbroen er meget trafikbelastet, hvorfor der ofte opstår kø i spidstimerne. Køernes pludselige opståen har forårsaget flere bagendekollisioner, og det blev derfor besluttet at etablere et køvarslingssystem til advarsel af trafikanter nærmende Vejlefjordbroen om kø, se figur 4.12. (Vejdirektoratet, 2007a)



Figur 4.12 Køvarslingssystem omkring Vejlefjordbroen (Vejdirektoratet, 2007a).

Der er opsat syv tavlesæt i hver retning visende advarselstavlen for kø over strækninger på ca. tre kilometer hen til broen. Tavleaktivering foregår ved, at radardetektorer detekterer et markant fald i hastighedsniveauet, og derefter aktiverer de dynamiske advarselstavler. Systemet er taget endeligt i anvendelse i starten af 2006, og der foreligger derfor endnu ikke egentlige effektmålinger af tavlerne. (Vejdirektoratet, 2007a)

4.5 IT-systemer bag dynamiske tavler

Teknologien omkring dynamiske tavler har udviklet sig meget siden 70'erne i takt med den generelle udvikling af IT-systemer. Der er både selve tavlevisningen, og hele IT-systemet der er forbedret, hvilket har den helt klare fordel, at dynamisk skiltning er blevet meget fleksibel, og har en bred vifte af anvendelsesmuligheder. (Kulovits et al., 2005)

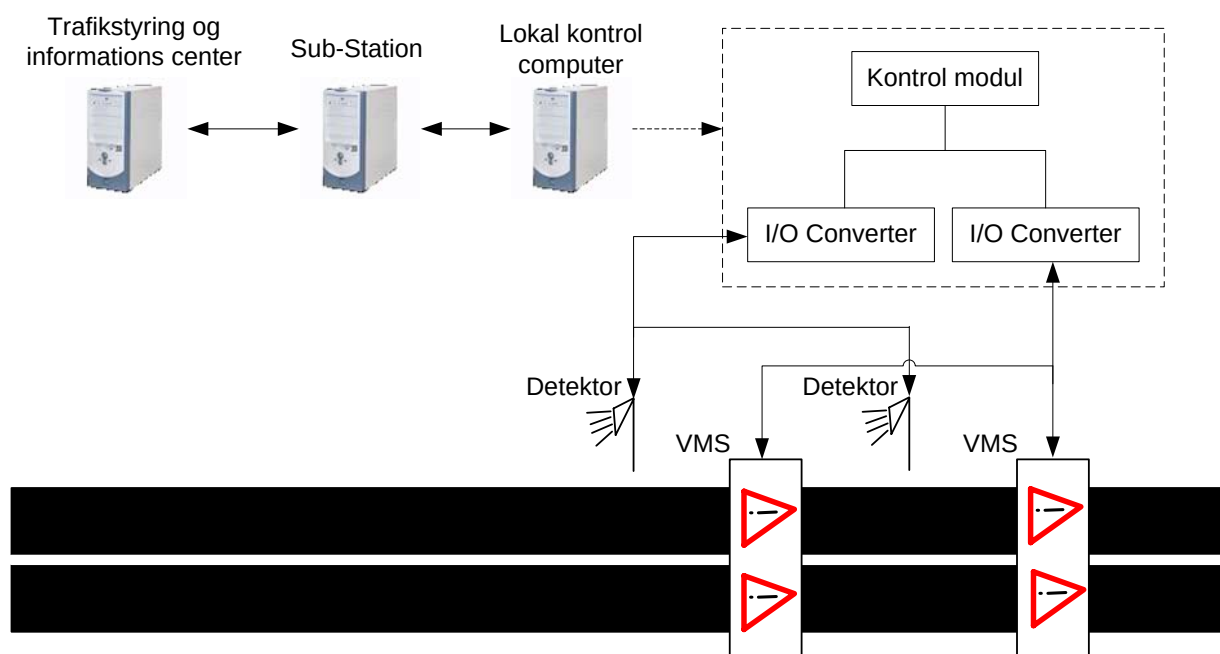
Det er overordnet de samme IT-systemer, som anvendes til styring af de forskellige dynamiske tavletyper, men der er derimod forskel i størrelsen på IT-systemerne alt efter omfanget af de dynamiske tavlesystemer. Eksempelvis kan mindre tavlesystemer styres af et fuldautomatisk IT-system placeret i umiddelbar nærhed af det opsatte tavlesystem, hvor større systemer såsom ved Motorring 3 kræver en konstant manuel overvågning og til tider en manuel sty-

ring. IT-systemer bag dynamiske tavler beskrives generelt for dynamiske tavler opdelt i de overordnede systemelementer og afsluttende med et eksempel på opbygning af et konkret dynamisk tavlesystem. Betegnelsen dynamiske tavlesystemer vil fremover blive anvendt som en betegnelse for det samlede IT-system, der knytter sig til det konkrete tavlesystem.

4.5.1 Overordnet systembeskrivelse

Teknisk set er der flere forskellige muligheder til opbygning af de trafikstyringssystemer, som ligger til grund for variable hastighedstavler, men overordnet følger de den samme principielle opbygning. Trafikstyringssystemet består overordnet af et detekteringssystem, en trafikstyringscomputer og et dynamisk tavlesystem. Detekteringssystemet indsamler data om trafikflowet, sender dette videre til computeren, der behandler trafikflowsdataene og derudfra sender data videre til de dynamiske tavle om, hvilken information der ud fra de aktuelle trafikale forhold skal skiltes med. (Krause and Altrock, 1996)

Moderne trafikstyringssystemer har integreret et større computersystem end de ældre systemer, hvorved stort set alt er fuldt automatiseret, og systemerne selv registrerer og informerer om fejl i systemet (Kulovits et al., 2005). Computersystemerne er hierarkisk opbygget for at sikre overskueligheden, og at datakommunikationen foregår effektivt med en klart defineret kommandolinie, hvilket medfører minimal risiko for fejl og kommunikationsforvirring. De nyere styringssystemer har en overordnet opbygning som vist på figur 4.13.



Figur 4.13 Princip for opbygning af moderne IT-system til dynamiske tavler (VMS)

De dynamiske tavler og detektorerne er forbundet til en lokal kontrolcomputer, der bearbejder den indkomne data fra detektorerne som et autonomt system og sender automatisk data videre til de dynamiske tavler. Integreret i den lokale computer er et kontrol modul bestående af I/O-Convertere, som har til opgave at oversætte data til og fra henholdsvis de dynamiske tavler og detektorerne, hvilket er en nødvendighed, da der generelt anvendes forskellige kommunikationsstandarder mellem de forskellige computerenheder i styringssystemet. Et trin højere i hierarkiet er en såkaldt Sub-Station, der indsamler data fra en eller flere lokale kontrolcomputere og fungerer som bindeled mellem disse og det helt overordnede trafikstyrings- og informationscenter. Herfra foretages den overordnede styring af trafikstyringssystemet og data indhentes fra de forskellige Sub-Stations og videregives til brug ved planlægning af de overordnede kontrolstrategier. (Kulovits et al., 2005)

Pålidelighed og driftssikkerhed er tæt forbundne begreber, der bør være højt prioriteret for at sikre et succesfuldt udbytte af en implementering af dynamiske tavler. Det er vigtigt, at tavlerne afspejler den aktuelle trafikale situation, for at bilisterne vil opfatte tavleinformationen som pålidelig og ændre kørselsadfærden efter informationen. Driftssikkerheden og driftsstabiliteten af et dynamisk trafikstyringssystem med dynamiske tavler er ligeledes essentiel for pålideligheden af tavlerne, da hyppige driftsforstyrrelser med ikke fungerende tavler i værste fald vil resultere i direkte mistillid overfor tavleinformationernes troværdighed. (Krause and Altrock, 1996) Følgende gives en uddybende beskrivelse af de forskellige elementer i trafikstyringssystemet.

4.5.2 Dataregistrering

Dynamiske tavler har som omtalt mange anvendelsesområder, hvorfor der er behov for registrering af forskellige datatyper og anvendelse af forskellige registreringsmetoder og teknologier. Datatyperne kan overordnet inddeles i vejrdato og trafikdata. Vejrdato indsamles og registreres oftest af vejrstationer, hvilket anvendes til dynamiske advarsels- og informationstavler advarende om eksempelvis glatføre ved frostgrader og sne, risiko for akvaplaning ved megen regn og dårlige sigtforhold ved tåge (Krause and Altrock, 1996).

Detaljeringsniveauet for registreringen er varierende alt efter, hvad den indsamlede data skal anvendes til. Registreringen kan indeholde trafikdata opdelt efter forskellige køretøjstyper, hvilket er meget anvendeligt ved køregistrering, da lastbiler og anden tung trafik rent fysisk fylder mere end almindelige personbiler. En effektiv og pålidelig anvendelse af dynamisk skiltning kræver en stor datamængde om den aktuelle trafikale situation og specielt fra flere forskellige snit på den pågældende vejstrækning. Trafikregistreringen skal derfor foretages over en større strækning og af mange registreringsenheder. Registrering af trafikflowet kan

foretages på mange forskellige måder, alt efter hvilke typer af trafikdata som ønskes registreret, hvor de mest anvendte detekteringsmetoder er

- Spoler i vejbelægningen
- Radardetektering
- Infrarøddetektering
- Videodetektering

Spoledetektering

Spoler i vejbelægningen indsamler data om antal køretøjer, og såfremt der er flere tætplacerede spoler, kan de passerende køretøjers hastighed samt køretøjstype beregnes og lagres. Elektriske ledninger fræses ned i asfalten og lægges i nogle omgange, hvorved der dannes en spole. Ledningerne er forbundet til en registreringsenhed, hvor data lagres. Detekteringen foregår ved, at ledningerne påføres en lille spænding, hvorefter en impuls i spolen dannes af et passerende køretøj, da metal som køretøjer hovedsageligt er opbygget af, skaber en spændingsændring (impuls). Tætplacerede spoler muliggør en trafikregistrering opdelt på køretøjstyper og hastighed, da det ud fra afstanden mellem spolerne er muligt at beregne akselafstanden på køretøjerne og derfor afgøre hvorvidt spolen bliver passeret af eksempelvis en lastbil eller en personbil. (Vejdirektoratet, 2004) Tidsdifferencen, hvormed et køretøj passerer tætliggende spoler med en kendt indbyrdes afstand, anvendes til at beregne køretøjernes hastighed.

Radardetektering

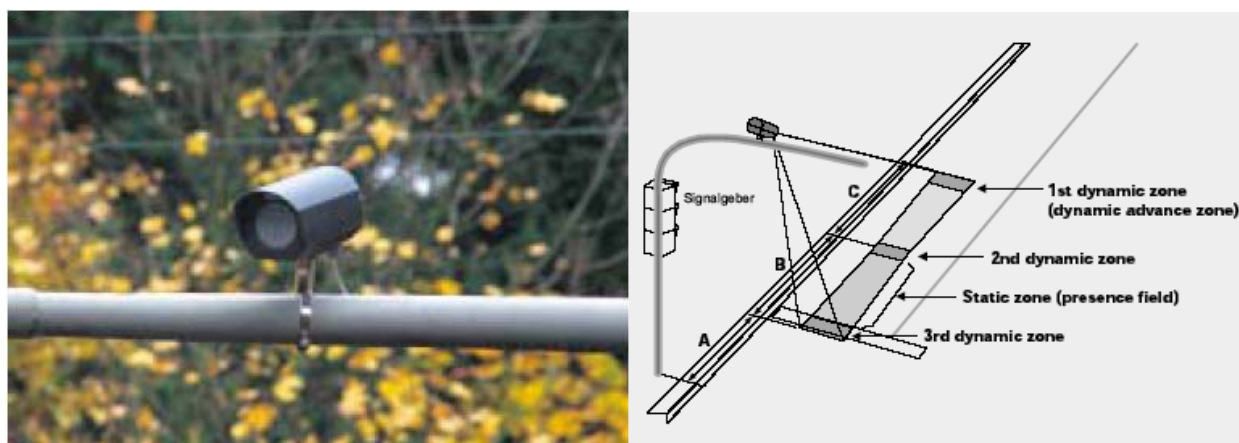
Radardetektering anvendes ligeledes som spoler til registrering af antal passerende køretøjer samt køretøjernes aktuelle hastighed (Vejdirektoratet, 2004), se figur 4.14. Nyere radarer muliggør tilmed opdeling af trafikregistreringer på køretøjstyper. Radarer kan anvendes til detektering af trafik i flere kørespor, men den største nøjagtighed opnås ved anvendelse af én radar pr. kørespor (SPG Media Limited, 2007b).



Figur 4.14 Radardetektering (SPG Media Limited, 2007b).

Infrarøddetektering

Infrarød trafikdetektering kan, som de ovenstående registreringsmetoder, anvendes til trafikregistrering indeholdende antal passerende køretøjer, køretøjstyper og køretøjshastigheder. De infrarøde sensorer er monterbare på eksisterende skiltemaster, hvilket minimerer implementeringsomkostningerne og sikrer at monteringen kan foretages uden store gener for trafikafviklingen. Bølgelængden, sensorerne opererer med, medfører, at de i forhold til andre visuelt baserede detekteringsmetoder stort set ikke påvirkes af vejrforhold som tåge, kraftig regn og sne. (Siemens, 1999)



Figur 4.15 Infrarød detektering (Siemens, 1999).

Videodetektering

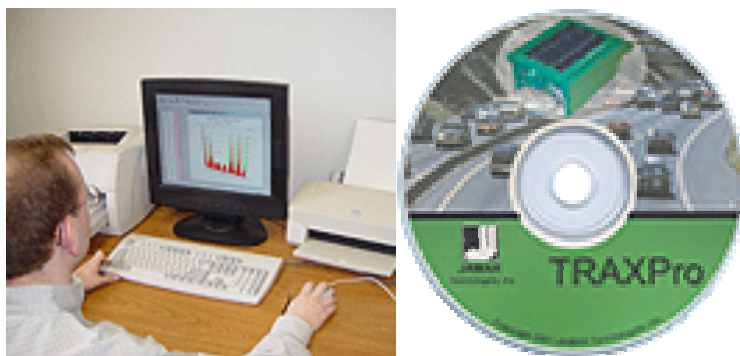
Videodetektering anvendes til registrering af antal passerende køretøjer, køretøjsklassifikation samt til registrering af trafikale hændelser såsom uheld eller tæt trafik og lignende avancerede registreringer, se figur 4.16. Montering af videokameraer kan, som for de infrarøddetektorer, foretages på eksisterende skiltemaster. Dårlige vejrforhold kan, modsat for infrarøde sensorer, i høj grad påvirke videodetekteringen, da denne udelukkende er visuelt baseret som almindelige videokameraer. Detekteringen foregår ved, at videokameraerne er tilsluttet en computer indeholdende software, som inddeler det visuelle billede fra videokameraet i forskellige felter på de kørespor, som ønsket registreret på, og derudfra registrerer bevægelser i disse felter fra de passerende køretøjer. (SPG Media Limited, 2007c)



Figur 4.16 Kamera til videodetektering (SPG Media Limited, 2007c).

4.5.3 Trafikstyringscomputer

Computeren der modtager data fra detektorerne lagrer alle trafikdata i en database og analyserer løbende på dataene ud fra forskellige programmerede kriterier også kaldet algoritmer. Disse algoritmer afgør, på baggrund af en analyse de indkomne data, hvilken information der sendes videre til de dynamiske tavler, og disse dermed viser. Modtages der eksempelvis data fra detektorerne om meget trafik og meget lave hastigheder, indikerer dette højst sandsynligt at der er kø eller begyndende kø, hvorfor computeren vil sende information videre til de dynamiske tavler om lavere hastighed og anden køinformation. Der eksisterer flere forskellige typer af software til analyse af indkomne trafikdata på trafikstyringscomputere, og det forholder sig ofte således, at den anvendte software direkte relateres til den anvendte detektor-type.

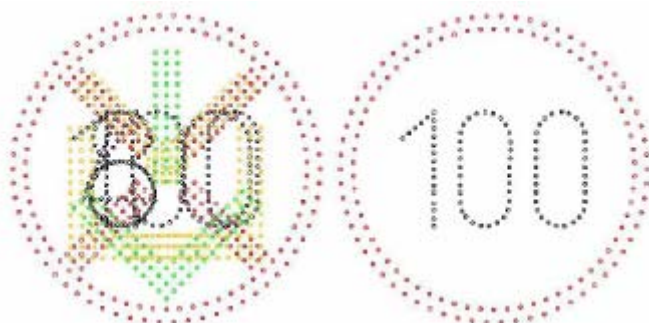


Figur 4.17 Eksempel på trafikstyringssoftware (Jamar Technologies Inc., 2007).

Trafikstyringssoftwaren som vist på figur 4.17 kan, som software fra andre producenter, udarbejde forskellige dataanalyser i selve programmet eller eksportere data i filformater der muliggør yderligere trafikdataanalyser i andre programmer (Jamar Technologies Inc., 2007).

4.5.4 Dynamiske tavler

De første dynamiske tavler der kom frem i 70erne består af en punktmatrice, som vist på figur 4.18, og har en begrænset anvendelse, da de visningsdiagrammer tavlerne er opbygget af, er prædefinerede ud fra de givne punkter og derfor ikke muliggør andre visninger. (Kulovits et al., 2005)



Figur 4.18 Dynamiske skilte bestående af en begrænset punkt matrice (Kulovits et al., 2005).

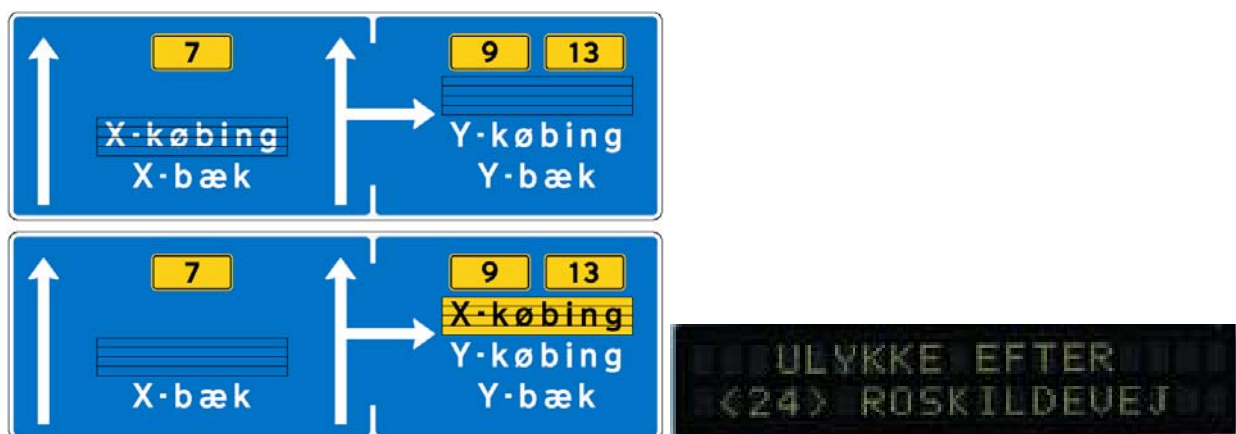
Tavlevisningen på nyere dynamiske tavler foregår via et display, der kan vise stort set alle anvendte tavlesymboler, se figur 4.19. Størrelsen af et display kan variere fra en enkelt tavle til en hel tavleportal og indeholde både tekst og skiltesymbolik. Udviklingen i IT-teknologien med hurtigere og større computere medfører, at større datamængder kan behandles hurtigere. Aktuell trafikinformation på de dynamiske tavler kan herved hurtigere monitoreres, da procestiden fra at trafikdata er registreret med detektorer, og til at tavlevisningen afspejler den registrerede trafikdata, er væsentligt reduceret. (Kulovits et al., 2005) Dette er et af de absolutte kerneområder, hvad angår dynamisk skiltning, da aktuel og korrekt information sikrer

tavlernes pålidelighed og troværdighed overfor bilisterne, og derved den ønskede anvendelse og adfærd overfor skiltene.



Figur 4.19 Dynamiske skilte med moderne og fleksible display (Kulovits et al., 2005).

Dynamiske tekstinformationstavler opdeles overordnet i prismetavler og dynamiske tekstdisplay tavler, se figur 4.20. Prismetavlerne anvendes hovedsageligt til vejvisning, men kan også udformes til visning af andre færdselstavler og anden tekstvisning. Tavler med dynamiske tekstdisplays har derimod et bredere anvendelsesområde, da den enkelte tavle kan viderebringe mange forskellige tekstinformationer. (Vejdirektoratet, 2006b) Prismetavlerne er mindre opmærksomhedstiltrækkende end de lysende dynamiske tavler, hvorfor det kræver nøje overvejelser, hvorvidt prismetavler skal anvendes til andet end vejvisning.



Figur 4.20 Venstre: Prismetavle (Vejdirektoratet, 2006b). Højre: Dynamisk tekstdisplay (Vithen and Kjemtrup, 2005).

Internettet og trådløs kommunikation er teknologier, som kan integreres i IT-systemerne til de dynamiske tavler og muliggør en endnu bredere anvendelse af tavlerne, da eksempelvis GPS data kan anvendes i direkte samspil med skiltene. Den trådløse kommunikation kan også anvendes til den interne datakommunikation mellem de forskellige enheder, der sender og/eller modtager data, såsom mellem de dynamiske tavler og den centrale computer som styrer skiltene. Her er det utroligt vigtigt med et stabilt og pålideligt kommunikationssy-

stem, da et ustabil system vil føre til ustabil skiltning, hvilket ikke er ønskeligt. (SPG Media Limited, 2007a)

4.5.5 Opbygning af et konkret IT-system

Trafikledelsessystemet med dynamiske tavler ved Motorring 3 anvendes som eksempelgrundlag for beskrivelse af et konkret IT-system. Formålet med systemet ved Motorring 3 er beskrevet i afsnit 4.4.2, hvorfor den følgende systembeskrivelse konkretiseres omkring den tekniske opbygning af IT-systemet. Systembeskrivelsen struktureres som følgende

- Dynamiske tavler og registreringsenheder
- IT-systemet
- Styringsalgoritmer

Dynamiske tavler og registreringsenheder

IT-systemet anvendes til styring af dynamiske informationstavler og hastighedstavler på selve Motorring 3 samt af faste tavler med et dynamisk tekstfelt på flere af de skærende veje, se figur 4.21. De dynamiske informationstavler og hastighedstavler er opsat på portaler i afstandsintervaller på mellem 500 m. og 1200 m., primært tilpasset en placering umiddelbart før frakørslerne og efter tilkørslerne. (Vithen and Henneberg, 2005)



Figur 4.21 Venstre: Dynamisk tavleportal på Motorring 3. Højre: Fast tavle med dynamisk tekstfelt ved skærende veje. (Vithen and Henneberg, 2005)

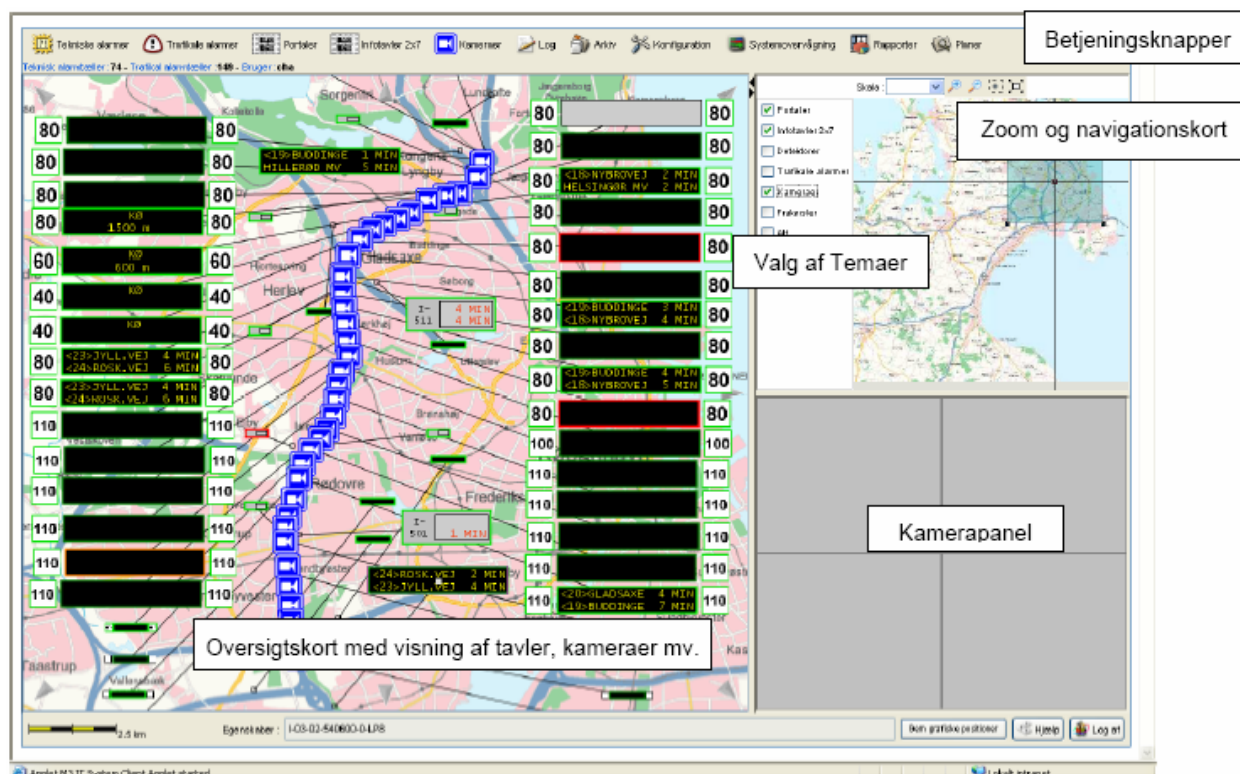
De dynamiske informationstavlers display kan udelukkende vise alfanumeriske værdier (tal og bogstaver), og styringssystemet indeholder alene forudprogrammerede visninger, hvorved det sikres, at tavlerne anvendes til viderebringelse af relevant trafikal information. Under normale omstændigheder anvendes tavlerne til visning af rejsetider, eller er slukkede. Ved høj

trafikintensitet, kø, uheld og andre hændelser benyttes tavlerne til visning af supplerende og forklarende information oftest i sammenhæng med skilte hastighedsnedsættelser på de dynamiske hastighedstavler. De faste tavler med dynamisk tekstfelt anvendes til angivelse af rejsetid eller forsinkelser til de i forvejen definerede destinationer, eller er slukkede.

Indsamling og registrering af trafikdata foretages af både radardetektorer og infrarøde kameraer. Radardetektorerne er placeret for hver ca. 500 m., og anvendes til registrering af trafikmængder og hastigheder for hvert kørespor. De infrarøde kameraer er placeret i ni målesnit for hver køreretning, og benyttes til rejsetidsbestemmelse på baggrund af nummerpladenkendelse. Foruden disse registreringsenheder er der for hver ca. 500 m. opsat kameraer primært med det formål at overvåge Motorring 3 og registrere opståede hændelser. (Vithen and Henneberg, 2005)

IT-systemet

Rygraden bag hele IT-systemet indeholdende registreringsenhederne og de dynamiske tavler udgøres af omfattende softwareapplikationer placeret på Vejdirektoratets servere, hvorved det er muligt at betjene og benytte systemet fra flere internt placerede lokaliteter. Sikring mod uønskede ændringer af systemets konfiguration og funktionalitet sker med opbygningen af et brugerhierarki med forskellige anvendelsesrestriktioner tilknyttet de enkelte brugergrupper. Beredskabspersonel har eksempelvis kun adgang til at se de forskellige tavle- og kameravisninger, hvorimod systemadministratoren og såkaldte superbrugere også har adgang til at ændre i datakonfigurationerne. Den overordnede betjeningsbrugerflade for IT-systemet fremgår af figur 4.22 (Vithen and Henneberg, 2005)



Figur 4.22 Ophugning af IT-systemets betjeningsflade (Vithen and Henneberg, 2005)

Funktionerne, IT-systemet varetager, kan overordnet beskrives ved følgende punkter:

- Automatisk hastighedsregulering
- Automatisk information om trafiktæthed
- Automatisk hændelsesdetektering
- Automatisk visning af rejsetider
- Trafikinformation på Motorring 3 (M3)
- Vognbaneregulering
- Kameraovervågning
- Dataregistrering og -lagring

(Vithen and Henneberg, 2005)

Automatisk hastighedsregulering anvendes hovedsageligt i sammenhæng med enten automatisk information om trafiktæthed eller automatisk hændelsesdetektering, hvor en detekteret kø eller eksempelvis en holdende bil resulterer i en automatisk hastighedsnedsættelse samtidigt med, at de dynamiske tavler viser forklarende tekst til hastighedsnedsættelsen. Teknisk set forgår dette ved, at detektorerne enten registrerer tæt trafik eller eksempelvis en holdende bil, sender data om dette videre til Vejdirektoratets serversystem, hvor softwareapplikationerne automatisk analyserer data, og ud fra foruddefinerede datascenarier sender data til båd-

de de dynamiske hastigheds- og informationstavler om den konkrete skiltning, svarende til den aktuelt detekterede trafikale situation. Automatisk visning af rejsetider foregår som før omtalt ved nummerpladeidentifikation med infrarøddetektering og er en særskilt service uden sammenhæng med andre funktioner. Fælles for alle automatikkerne er, at det manuelt er muligt at overstyre disse, såfremt det beredskabs-, sikkerhedsmæssigt eller af andre årsager er nødvendigt. (Vithen and Henneberg, 2005)

Trafikinformation på Motorring 3 (M3) er prædefinerede og manuelt styrede informationer, som ved et indtruffet uheld eller andre hændelser kan udsendes til trafikanterne på M3 via de dynamiske informationstavler. Informationen kan eksempelvis være, hvorvidt motorvejen helt eller delvist spærres som følge af uheldet og angivelse af tidspunkt for en forventet genåbning. Der er i styringssystemet til tavlerne indkodet en liste med de mulige visninger, så det ikke er muligt frit at skrive en tekst. (Vithen and Henneberg, 2005)

Vognbaneregulering anvendes ved behov for lukning af en vognbane som følge af vedligeholdelsesarbejder o. lign., og foretages ved på den dynamiske hastighedstavle over den pågældende vognbane at aktivere et rødt kryds. Samtidigt aktiveres automatisk en gul pil på den forudgående portal pegende mod den frie vognbane til forvarsling om vognbanelukningen, og der iværksættes en hastighedsnedsætning. (Vithen and Henneberg, 2005)

Kameraovervågningen af Motorring 3 styres hovedsageligt manuelt, og anvendes til identificering og lokalisering af forskellige indtrufne hændelser som kø eller uheld. Såfremt disse hændelser registreres af detektorerne, aktiveres kameraerne automatisk som et led i alarm- og beredskabssystemet

Dataregistrering og –lagring foretages kontinuerligt for hele IT-systemet indbefattende både data fra detektorer og data om tavlevisninger, primært til anvendelse ved opfølgning og evaluering af systemerne.

Styringsalgoritmer

Indsamlede trafikale data fra de forskellige detektorer ved trafikledelsessystemet på Motorring 3 analyseres ud fra styringsalgoritmer til de funktioner, som anvendes til tavlestyringen. Algoritmerne består af foruddefinerede parametre, som ud fra de aktuelle trafikdata afgør, hvilken skiltning der aktiveres. Trafikledelsessystemet ved Motorring 3 benytter algoritmer til følgende funktionaliteter.

- Beregning og visning af rejsetider
- Hastighedstilpasning
- Kalenderstyret hastighedsvisning
- Manuelt valg af vognbanelukning

- Køvarsling
- Hastighedsharmonisering
- Automatisk hændelsesdetektering

(Henneberg, 2006)

Beregning af rejsetid foretages for udvalgte ruter ud fra hastighedsmålinger i forskellige detektorsnit, hvor hvert detektorsnit anvendes til rejsetidsberegning af en delstrækning defineret som startende halvvejs fra det forudgående detektorsnit og tilsvarende sluttende halvvejs til det næste detektorsnit. Summering af rejsetidsberegningerne for delstrækninger liggende på en rute angiver den samlede rejsetid for ruten. Rejsetidsberegningerne foretages hvert halve minut, og tavlevisningen opdateres herudfra hvert minut.

Hastighedstilpasning foretages for hvert tavlesnit til at sikre, at de forskellige tavlesnit automatisk samordnes, såfremt at hastighedsvisningen enten automatisk som følge af de andre funktionaliteter eller manuelt ændres i et tavlesnit. Algoritmen sikrer, at en hastighedsnedsættelse for et tavlesnit foretages trinvist i intervaller af 20 km/t og med en minimums visningstid på 40 sekunder, samtidigt med at der maksimalt er en forskel i hastighedsvisning på 20 km/t mellem 2 naboliggende tavlesnit.

Kalenderstyret hastighedsvisning er en algoritme, hvor hastighedsvisningen er forud programmeret ud fra ugedag og klokkeslæt. Formålet med denne algoritme er at have en kalenderbestemt maksimal hastighedsvisning.

Vognbanelukning styres manuelt af en operatør, hvorved en algoritme automatisk aktiverer en decideret vognbanelukningsprocedure bestående dels af en hastighedsnedsættelse samt en forvarsling om vognbanelukning. Forvarslingen foretages med aktivering af en gul pil på tavlesnit nedstrøms for tavlesnittet skiltende med vognbanelukningen.

Køvarsling foretages, når trafikken hastighedsniveau falder til under 30 km/t, da der ved beregning af et hastighedsniveau under denne grænseværdi i en detektorstation automatisk aktiveres en køvarslingsalgoritme. Hastighedsskiltningen sænkes herved til 40 km/t, og der skiltes om kø på to til tre opstrøms tavlesnit. Afmelding af kø foretages, når hastighedsniveauet stiger til over 45 km/t.

Hastighedsharmonisering er en tilpasning af hastighedsvisningen på tavlerne på baggrund af de aktuelt detekterede middelhastigheder fra køresporet med de højest detekterede middelhastigheder. Denne algoritme tjener det formål, at få bilisterne til at holde deres aktuelle hastighed og derved påvirke deres opfattelse af hvilken hastighed der bør anvendes. Der er indlagt maksimums og minimums værdier for hastighedsskiltning, for blandt andet at sikre mod for høj hastighedsskiltning ved generelle overskridelser af hastighedsgrænserne.

Automatisk hændelsesdetektering er en endnu ikke automatiseret algoritme, men anvendes til at informere operatørerne om mulige opståede hændelser (uheld o. lign.). En hændelse er defineret ud fra en bestemt trafiktæthed og/eller ved lave hastighedsniveauer. Der anvendes i alt tre forskellige algoritmer, en til detektering nedstrøms hændelse, en til opstrøms hændelse samt en til detektering af en pludseligt opstået flaskehals på en strækning. Hændelsesdetekteringen er som omtalt ikke automatiseret endnu grundet de vanskeligheder og fejl, denne er behæftet med, hvorfor der først kræves tilbundsgående tests og erfaringer.

4.6 Udenlandske erfaringer

Konkret viden fra undersøgelser af forhold omkring dynamiske tavler, eller erfaring med allerede implementerede dynamiske tavler fra udlandet, som differentierer fra den nuværende anvendelse i Danmark, beskrives for at give en indikation af, på hvilke områder Danmark adskiller sig. Der tages udgangspunkt i de til dette litteraturstudie anvendte udenlandske referencer samt i en opdeling af erfaringer til henholdsvis dynamiske informationstavler og dynamiske hastighedstavler.

4.6.1 Dynamiske informationstavler

Dynamisk informationsskiltning har brede anvendelsesmuligheder, hvorfor der i udlandet eksisterer andre anvendelsesområder end de, der allerede er i funktion i Danmark. Udenlandske erfaringer med aktuel og dynamisk trafikinformation differentierende fra den danske anvendelse, beskrives med angivelse af, hvor de pågældende erfaringer stammer fra.

Erfaringer fra Beijing

Dynamiske informationstavlers indflydelse på bilisters adfærd overfor rutevalg er gennem en undersøgelse kortlagt i Beijing. Det fremkomne resultat viste, at et godt kendskab til vejnettet betød en større vilje til ruteændring, og at aggressive bilister i højere grad end rolige bilister var villige til at foretage ruteændring. (Zhou and Wu, 2006)

Erfaringer fra Taiwan

Anvendelsen af aktuel trafikinformation i relation til trafikanters påvirkelighed til at foretage en ændring af rutevalg er undersøgt i Taiwan, hvor det fremkom, at mandlige trafikanter er mere tilbøjelige til rutevalgsændring end kvindelige trafikanter, hvis der er en tidsmæssig gevinst at hente. Ældre trafikanter er modsat svære at flytte fra deres oprindelige rute, da de foretrækker at køre ad en kendt rute, som de har for vane at anvende. Tavleinformationen blev i undersøgelsen fundet mest effektiv, såfremt denne var af kvantitativ karakter, da flest trafikanter opfattede denne information korrekt. (Jou et al., 2005)

Erfaringer fra England

Effekten på bilisters rutevalgsadfærd af dynamisk tavleinformation er beskrevet i en engelsk undersøgelse, som blandt andet konkluderede, at bilister er mere følsomme overfor visning af tidsforsinkelse end af rejsetid, da de har en større tilbøjelighed til ruteændring ved angivelse af tidsforsinkelse. Følsomheden overfor tidsforsinkelse stiger, desto større tidsforsinkelsen er i forhold til den præsenterede værdi. Supplering af informationen om tidsforsinkelse med beskrivelse af årsagen til forsinkelsen, eksempelvis et uheld, har en større effekt på bilisters vilje til at vælge en alternativ rute, end hvis ingen supplerende information er givet. (Wardman et al., 1997)

Erfaringer fra Skotland

Anvendelse af dynamiske informationstavler på et større bynært motorvejsnet er testet i Skotland, hvor rejsetid ad forskellige ruter blev skiltet til bilister, der herudfra kunne træffe beslutning om rutevalg. Undersøgelsen konkluderede, at der i spidstimerne var samlede tidsgevinster at hente og specielt i tilfælde af uheld, hvor rejsetiden ad andre ruter var lavere end den oprindelige rute, bilisterne kørte ad. Præcisionen af informationen på skiltene var ifølge bilisterne altafgørende for systemets succes, da der skulle være en reel tidsbesparelse for, at de ville foretage en ruteændring. (Messmer et al., 1998)

4.6.2 Dynamiske hastighedstavler

Anvendelse af dynamiske hastighedstavler indeholder flere aspekter og muligheder end omfattet af de eksisterende og implementerede dynamiske hastighedstavler i Danmark. Fremkomne aspekter, forskellige fra den danske anvendelse af dynamiske hastighedstavler ved udarbejdelsen af litteraturstudiet, er fremhævet.

Erfaringer fra Sverige

Opsætning af dynamiske hastighedstavler ved T-kryds eller andre lokaliteter hvor en sekundær trafikstrøm sammenflettes med en primær trafikstrøm, er testet i en større svensk undersøgelse. Dynamiske hastighedstavler opsat på primærstrækningerne før sammenfletningspunkterne blev aktiveret visende en lavere tilladelig hastighed end normalt ved detektering af bilister på sekundærstrækningerne. Undersøgelsen konkluderede, at det generelle hastighedsniveau på primærstrækningerne blev sænket ved aktivering af de dynamiske hastighedstavler og medførte derved både mere glidende sammenfletninger og en lavere uheldsrisiko. (Vägverket, 2006)

Erfaringer fra USA

Simuleringsforsøg af dynamiske hastighedstavler på en motorvejsstrækning i Orlando, USA til forbedring af trafikikkerheden afslørede, at en målrettet anvendelse med aktivering af hastighedstavlerne på tidspunkter hvor der var den største uheldsrisiko, minimerede denne. Den største uheldsforebyggende effekt under normale trafikale forhold kunne opnås ved sænkning af hastighedsgrænserne med intervaller af 10 km/t og af minimum 10 minutters varighed. I spidstimerne hen mod lokaliteter med stor uheldsrisiko havde de dynamiske tavler den største uheldsforebyggende effekt, såfremt hastighedsgrænserne blev sænket med store hastighedsintervaller op mod 30 km/t og over forholdsvis korte strækninger på 3 km. Hastighedsnedsættelser uden for spidstimerne viste også at have en god effekt på trafikafviklingen. (Abdel-Aty et al., 2005)

Erfaringer fra Holland

Køafviklings- og shock waves- problematikker (tilbagestuvning af kø) er forsøgt afhjulpet i en Hollandsk undersøgelse. Kombinationen af en optimeret samordning af flere hastighedstavlesnit i samme kørselsretning med en forudsigelsesmodel der kan forudse, hvornår køproblemer opstår og derved nå at sænke hastighedsniveauet inden køen reelt opstår, blev undersøgt. Konklusionen var, at der på den undersøgte 12 km lange motorvejsstrækning kunne opnås en samlet rejsetidsbesparelse på 17,3 %, afhjælpning af køafviklingen og minimering omfanget af shock waves.

4.6.3 Anvendelse af udenlandske erfaringer

Det tydeliggøres, at ovenstående udenlandske erfaringer ikke må overføres direkte til anvendelse under danske forhold. Udenlandsk erfaringsmateriale kan tjene som inspiration, men forudsætter dybdegående undersøgelser og gennemførelse af konkrete teknologi- og erfaringsoverførsler inden en direkte anvendelse i Danmark. Kulturelle, organisatoriske og andre forskelle landene imellem medfører, at disse bør undersøges i forhold til indvirkning på erfaringsoverførsel.

4.7 Sammenfatning

Gennem litteraturstudiet er både nationale og internationale aspekter vedrørende dynamiske tavler belyst. Trafikantadfærden i relation til og konkrete anvendelser af de forskellige dynamiske tavletyper er beskrevet efterfulgt af en gennemgang af IT-systemerne bag dynamiske tavler. Arbejdet med litteraturstudiet har afsløret, at der specielt omkring afdækning af effekter ved, samt adfærd overfor, de implementerede dynamiske tavlesystemer i Danmark mangler mere dokumentation. Dette medfører, at der omkring de samfundsøkonomiske

aspekter af de dynamiske tavlesystemer også er manglende dokumentation, og derfor ligger et stort fremtidigt arbejdsområde.

5 Problemformulering

Trafikafviklingen på det overordnede vejnet specielt omkring de større byer udgør et stigende problem grundet trafikvæksten (Vejdirektoratet, 2006a). Tiltag såsom udbygning af vejnettet, vejudvidelser eller en mere dynamisk styring og kontrol af trafikafviklingen er nødvendige for at imødekomme disse problematikker og minimere de allerede eksisterende problemer. Udbygning af vejnettet og vejudvidelser har i lang tid været ”vejen ud af fremkommelighedsproblemer”, men er ikke altid en mulig løsning i de større byer samt ved broer og andre flaskehalse, hvor en udbygning enten er fysisk umulig, eller vil være meget bekostelig.

Dynamiske tavler anvendes flere steder i udlandet, men kun i et lille omfang i Danmark til at afhjælpe trafikafviklingen. I Aalborg anvendes dynamiske tavler til at kontrollere hastigheden gennem Limfjordstunellen, og har i et lille omfang været anvendt til at informere bilister på det overordnede vejnet, om hvilken tidsforsinkelse der var ved at benytte henholdsvis Limfjordsbroen og Limfjordstunellen til krydsning af Limfjorden i spidstimerne. Ved Motorring 3 omkring København er dynamiske tavler implementeret for som i Aalborg at kunne regulere hastighedsniveauet samt til at informere bilister om indtrufne uheld, vejarbejde og generelle kødannelser med information om estimerede rejsetider. Omkring Vejlefjordbroen anvendes dynamisk tavler til advarsel om kø for at skærpe bilisternes opmærksomhed om kødannelser for derved at forbedre trafikafviklingen.

Med udgivelsen af en håndbog for brug af dynamiske tavler (Vejdirektoratet, 2006b) har Vejdirektoratet åbnet op for en større anvendelse af dynamiske tavler i Danmark, hvilket medfører flere trafikplanlægningsmæssige muligheder specielt omkring trafikafvikling. I kølvandet på dette rejser flere spørgsmål omkring de samfundsøkonomiske aspekter vedrørende dynamiske tavler, hovedsageligt med vægt på hvilke samfundsrelaterede effekter der er forbundet med en indførelse af dynamiske tavler.

5.1 Problemafgrensning

Implementering af dynamiske tavler i Danmark bør som andre anlægsprojekter baseres på samfundsøkonomiske vurderinger af omkostninger og samfundsrelaterede effekter. Grundet de begrænsede danske erfaringer med dynamiske tavler eksisterer der ingen vurderingsrammer til håndtering og opstilling af samfundsøkonomiske beregninger. På denne baggrund ønskes følgende problemstilling behandlet.

Med udgangspunkt i erfaringer og viden fra litteraturstudiet ønskes opstillet en samfundsøkonomisk vurderingsramme til anvendelse ved samfundsøkonomiske vurderinger af fremtidige danske projekter med dynamiske tavler.

6 Samfundsøkonomisk vurderingsramme

Implementering af nye infrastrukturelle anlæg beror oftest på samfundsøkonomiske vurderinger og vægtning af omkostninger og gevinster (costs og benefits) ved de forskellige projekter. Fokus for samfundsøkonomiske vurderinger har primært været omkring den politiske prioritering af projekteralternativer ved de større anlægsprojekter i Danmark. Dynamiske tavlesystemer adskiller sig på en lang række punkter fra traditionelle anlægsprojekter, og er specielt med de stigende trafikale problemer på vejnettet interessante at undersøge ud fra et samfundsøkonomisk aspekt. Med udgangspunkt i en generel beskrivelse af relevante elementer ved samfundsøkonomisk vurdering af dynamiske tavler, opstilles en vurderingsramme til brug ved samfundsøkonomiske analyser af fremtidige dynamiske tavleprojekter med henholdsvis dynamiske hastighedstavler, -informationstavler og -symboltavler.

6.1 Baggrund for opstilling af vurderingsramme

Dynamiske tavlesystemer er et forholdsvist nyt område i Danmark, hvorfor der ikke eksisterer konkrete og systematiserede erfaringer med samfundsøkonomiske analyser og vurderinger af en implementering af disse teknologier (Clausen and Krenk, 2006). Der er mulighed for at skele til udenlandske erfaringer, men disse kan ikke direkte overføres grundet kulturelle forskelle. Vejdirektoratet har arbejdet på at opstille en overordnet metoderamme for udarbejdelsen af samfundsøkonomiske vurderinger af trafikledelsessystemer, hvori det anbefales at tage udgangspunkt i Transport- og Energiministeriets ”Manual for samfundsøkonomisk analyse”. (Clausen and Krenk, 2006) Manualen er anvendelig til infrastrukturprojekter, men kræver en tilpasning, for specifikt at kunne anvendes til dynamiske tavlesystemer.

6.2 Vurderingsrammens elementer

Arbejdsgangen for en samfundsøkonomisk analyse af dynamiske tavlesystemer er overordnet som beskrevet i figur 6.1 og følger dermed den generelle arbejdsgang ved vurdering af anlægsprojekter. De forholdsvis begrænsede danske erfaringer med dynamiske tavler medfører, at en samfundsøkonomisk vurdering vil være behæftet med en del antagelser og dermed store usikkerheder omkring de endelige resultater, hvilket kommenteres, hvor dette er tilfældet.



Figur 6.1 Centrale faser i en samfundsøkonomisk analyse (Clausen and Krenk, 2006)

Relevante elementer ved samfundsøkonomisk vurdering af dynamiske tavlesystemer beskrives overordnet for alle tavletyper efterfulgt af specifikke vurderingsrammer for de enkelte tavletyper opdelt efter dynamiske informationstavler, -hastighedstavler og -advarselstavler. Den overordnede beskrivelse af elementerne ved samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavlesystemer struktureres som følgende.

- Beskrivelse af basisalternativ og projekialternativer
- Opstilling og værdisætning af relevante effekter og omkostninger
- Beskrivelse af ikke værdisatte effekter
- Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger
- Samfundsøkonomiske evalueringskriterier
- Følsomhedsanalyser
- Resultatpræsentation

6.2.1 Beskrivelse af basisalternativ og projekialternativer

Samfundsøkonomiske analyser anvendes som beslutningsgrundlag enten til at vurdere, hvorvidt et projekt med samfundsøkonomisk fordel bør implementeres i forhold til et basisalternativ eller til samfundsøkonomisk prioritering mellem forskellige projekialternativer.

”Nulløsningen” eller basisalternativet, hvor intet foretages, anvendes som reference til at vurdere, hvilke samfundsøkonomiske fordele og ulemper der er ved implementering af et ønsket projekt. Basisalternativet beregnes for samme kalkulationsperiode som selve projektet, for at kunne anvendes som sammenligningsgrundlag, og skal derfor også tage højde for trafikvækst, den generelle økonomiske vækst, påvirkninger fra andre fremtidige projekter samt andre eksterne forhold på lige fod med de samfundsøkonomiske beregninger for projektet. (Trafikministeriet, 2003) Dynamiske tavleprojekter differentierer ikke fra de mere almindelige anlægsprojekter, hvad angår opstilling og beregning af basisalternativ, da ”nulløsningen” er situationen uden et implementeret projekt.

Dynamiske tavler kan overordnet opsættes i to forskellige situationer, ved eksisterende vej-anlæg eller til afhjælpning af trafikafviklingen i forbindelse med anlægsarbejde. Basisalternativet er relativt simpelt at opstille i første situation, da dette er en regulær ”med og uden” situation. Ved opsætning i forbindelse med anlægsarbejde er en opstilling af basisalternativ derimod mere kompliceret, og kræver en afklaring af flere faktorer.

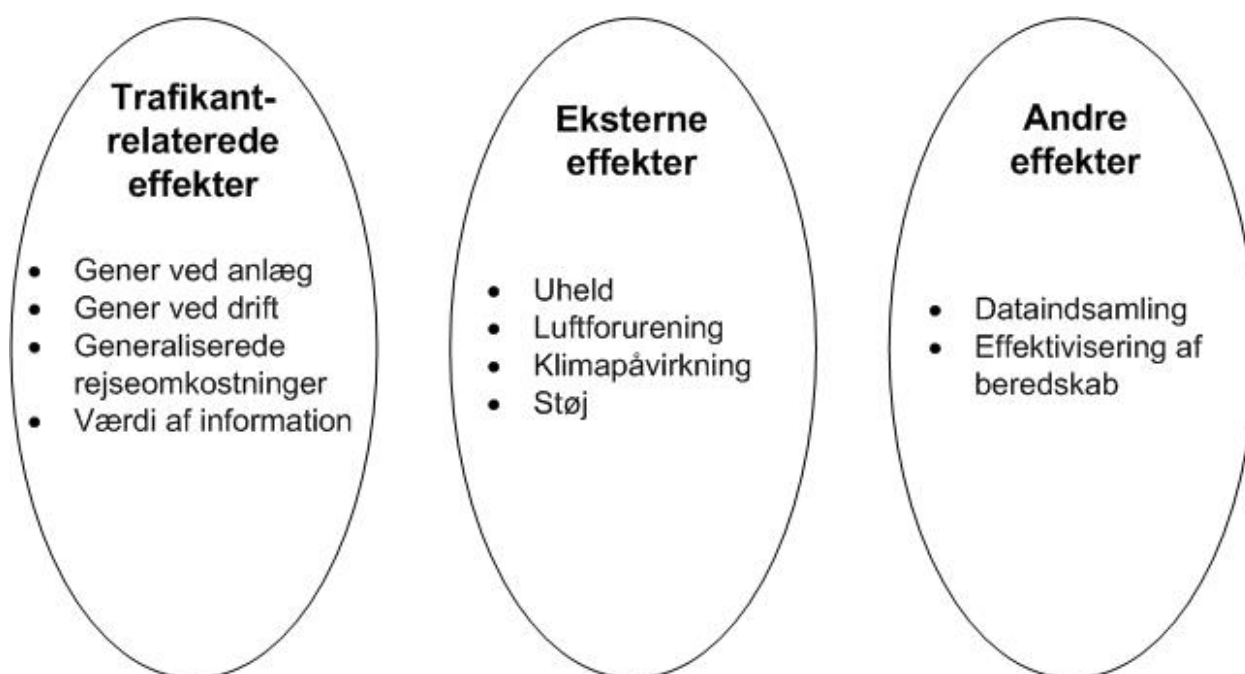
Anlægsarbejde medfører ”unormale” trafikale forhold og en korrekt basissituation vil derfor være en situationsbeskrivelse af de samfundsøkonomiske aspekter i anlægsperioden uden opsætning af dynamiske tavler. Dette vil være behæftet med grove antagelser af anlægsarbejdets forventede indvirkning på de trafikale forhold og de deraf afledte effekter, og bør derfor baseres på erfaringer fra lignende anlægsarbejder og/eller simulering fra en omhyggeligt opstillet og kalibreret trafikmodel. Et andet vigtigt aspekt er, hvorvidt tavlerne afmonteres efter anlægsarbejdet eller gøres permanente, da dette afgør længden af kalkulationsperioden og dermed beregningerne for basisalternativet. Komplexiteten af beregningerne øges tillige ved, at der skal tages højde normaliseringen af de trafikale forhold ved driftssituationen efter afslutningen af anlægsarbejdet.

Samfundsøkonomiske vurderinger kan benyttes til prioritering mellem projekter med samme overordnede formål og helt vidt forskellige projekter. Det er således muligt rent politisk at prioritere mellem projekter med dynamiske tavler og almindelige anlægsprojekter, alene ud fra hvad der samfundsøkonomisk er mest rentabelt.

6.2.2 Opstilling og værdisætning af relevante effekter og omkostninger

Samfundsøkonomiske effekter opdeles normalt overordnet i tids-, trafikikkerheds- og miljømæssige effekter (Trafikministeriet, 2003). Projekter med dynamiske tavler er som omtalt væsentligt forskellige fra almindelige anlægsprojekter, hvorfor en opdeling i trafikantrelaterede effekter, eksterne effekter og andre effekter i denne sammenhæng er mere hensigtsmæssig, figur 6.2. Det er grundet forskellighederne i formålet med og den aktuelle anvendelse af dynamiske tavler ikke muligt at opstille en standardiseret metode til opgørelse af de relaterede samfundsøkonomiske effekter af tiltaget, hvorfor der i hvert enkelt tilfælde må foretages en grundig vurdering af tiltagets reelle effekt. Implementering af dynamiske tavler til afhjælpning af trafikafviklingen kan eksempelvis generere mertrafik end tilfældet uden tavleimplementering, såfremt tavlerne medvirker til en optimeret anvendelse af det berørte vejnets kapacitet og derved medføre negative miljøeffekter i forhold til basisalternativet.

Ved trafikmodelsimulering af de trafikale forhold ved basisalternativet og det dynamiske tavleprojekt bør der så vidt muligt udvælges det område (netværksstørrelse), som forventes at blive påvirket som følge af en implementering af de dynamiske tavler, således den samlede vurdering af effekter på netværket kan opgøres, hvilket er vigtigt, da eksempelvis trafik ledt ad andre ruter kan medføre øgede omkostninger på miljøet såfremt miljøet er tillagt en større værdi her.



Figur 6.2 Relevante effekter ved dynamiske tavler

Trafikantrelaterede effekter

Gener ved anlæg opgøres hovedsageligt som forventede trafikale gener ved opsætning af tavler og tavleportaler. Trafikale gener er både gener for selve trafikafviklingen (tidstab for trafikanterne) og øget uheldsrisiko. Gener ved drift er af samme karakter som ved anlæg blot i en mindre størrelsesorden, og må vurderes på baggrund af det forventede vedligeholdelsesomfang.

Generaliserede rejseomkostninger omfatter både kørselsomkostninger og omkostninger knyttet til selve rejsetiden. Kørselsomkostninger er de direkte omkostninger forbundet med rejsen såsom ressourceomkostninger og afgifter. Omkostningerne knyttet til rejsetiden er relateret til den reelle køretid og eventuelle forsinkelser. (Trafikministeriet, 2003) Trafiksimulering af den trafikale situation med og uden de pågældende dynamiske tavler bør lægges til grund for estimering af de generaliserede rejseomkostninger, da en god simulering vil kunne anvendes til bestemmelse af de samlede rejsetider. Besparelser i forbindelse med kø vil for dynamiske tavlesystemer sigtende mod en bedre trafikafvikling og derved minimering af køproblemer eksempelvis kunne bestemmes på baggrund af en trafiksimulering.

Værdien af informationen fra dynamiske tavler for den enkelte bilist er et kompliceret men bestemt væsentligt aspekt, og afhænger i høj grad af informationstypen. Ved kø på en vejstrækning grundet et uheld eller anden hændelse kan information med eksempelvis årsagsangivelse og eventuelt forventet forsinkelse være med til at mindske stressniveauet hos bilisterne til gavn for både den enkelte bilist og samlet set for hele samfundet. Den konkrete værdisætning kan foretages ved "Stated Preference" analyser indeholdende en "Willingness to Pay" analyse, hvor den enkelte bilist værdisætter betydningen af den konkrete informationstype.

Eksterne effekter

Eksterne effekter er de effekter, der påføres omgivelserne som følge af en implementering af dynamiske tavlesystemer og kan overordnet opdeles i miljørelaterede effekter og forventede uheldsomkostninger. Miljøeffekter opdeles ved samfundsøkonomiske beregninger i ændring af luftforurening, klimapåvirkninger og støj. Luftforurening opgøres som ændringen i udledningen af miljøskadelige gasarter, klimapåvirkninger udgøres af ændringen af CO₂-udledningen og støj som den samlede ændring af støjbelastede boliger beregnet ud fra støjbelastningstallet SBT. De forventede uheldsomkostninger opgøres enten som antallet af lettere og alvorligt tilskadekomne og dræbte, eller som det samlede antal uheld ud fra en gennemsnitspris pr. personskadeuheld.

Fælles for beregning og værdisætning af de eksterne effekter er, at de bør tage udgangspunkt i prognoseberegninger af de trafikale ændringer ved en implementering af dynamiske tavler.

Prognoseberegninger for den forventede trafikale ændring ved implementering af dynamiske tavler kan med fordel udarbejdes ved en grundigt udført trafiksimulering. Fordelen ved en trafiksimulering er, at faktorer såsom rutevalgsændring og ændring i trafikmængder, der i høj grad påvirker beregningen af de eksterne effekter, kan estimeres.

Andre effekter

Dataindsamling fra forskellige trafikale registreringsenheder til dynamiske tavlesystemer kan anvendes til etablering af et erfaringsgrundlag for senere samfundsøkonomiske beregninger samt til brug ved trafikplanlægningsmæssigt arbejde, og bidrager derfor positivt til det samfundsøkonomiske regnskab. Værdisætning af dataindsamlingen er kompliceret, da denne afhænger af den konkrete videre anvendelse af indsamlet data, og bør bero på en velbegrunnet vurdering eller som minimum indgå i den kvalitative vurdering af ikke værdisatte effekter.

Effektivisering af beredskab er specielt en relevant effekt ved de dynamiske tavlesystemer, der foretager hændelsesdetektering, da der eksempelvis ved detektering af et trafikuheld hurtigt kan sendes en alarm til et beredskab, der herefter kan rykke ud og derved minimere den kostbare udrykningstid. Denne effektbesparelse må baseres på vurdering af det enkelte system på baggrund af en estimeret effekt af den konkrete hændelsesdetektering.



Figur 6.3 Omkostningselementer ved dynamiske tavler

Anlægsomkostninger

Opgørelse af anlægsomkostninger ved dynamiske tavlesystemer kræver et fuldstændigt overblik over samtlige delelementer, systemet er bygget op omkring, og omfatter omkostninger til detektorer, dynamiske tavler, styresystemer omfattende computere og softwareapplikationer, samt til kommunikationssystemer mellem de forskellige enheder. Foruden selve prisen for elementerne er det nødvendigt at kende opsætningsmetoden for detektorer og dynamiske tavler, da opsætning på nye portaler er forbundet med større omkostninger end opsætning på eksisterende portaler og master.

Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger

Ved dynamiske tavlesystemer er det hensigtsmæssigt med en opdeling i driftsomkostninger og vedligeholdelsesomkostninger, da større tavlesystemer af sikkerhedsmæssige årsager kræver en konstant overvågning modsat almindelige anlægsprojekter. Driftsomkostninger omfatter overvågningsomkostninger, omkostninger til forsyning af alle systemenheder og kommunikation mellem disse. Vedligeholdelsesomkostninger omfatter reparationsomkostninger og omkostninger til løbende eftersyn af de forskellige systemenheder. Der kan med fordel, for at sikre et fornuftigt vurderingsgrundlag, indhentes oplysninger fra producenterne bag de forskellige systemenheder om forventede vedligeholdelses- og reparationsomkostninger, indtil der foreligger et konkret dansk erfaringsgrundlag. Drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne baseres på grundige vurderinger af forventede omkostninger, indtil der foreligger et solidt erfaringsgrundlag

Restværdi

Værdien af systemet umiddelbart efter kalkulationsperioden betegnes som systemets restværdi (Trafikministeriet, 2003). Størrelsen af restværdien afhænger af flere faktorer såsom teknologisk forældelse og omfanget af vedligeholdelse. Forældelse af IT-systemer er en væsentlig faktor for systemets reelle levetid og dermed restværdi, såfremt der ikke løbende foretages fornyelse og udskiftning af de forskellige systemenheder som led i vedligeholdelsesarbejdet. Opgørelse af systemets restværdi bør derfor baseres ud fra vurderinger på baggrund af forventede vedligeholdelses- og fornyelsesomkostninger.

6.2.3 Ikke værdisatte effekter

Effekter der ikke umiddelbart er kvantificerbare i relation til implementering af dynamiske tavler er æstetik og barriereeffekt. Dynamiske tavler er rent fysisk ikke store, og forventes derfor ikke at forårsage en speciel forringelse af æstetikken, men såfremt de opsættes på nye større skilteportaler, bør de æstetiske forhold herved indgå i den samlede vurdering. Barriereeffekt, der angiver hvorvidt en vej hindrer eller forsinker lette trafikanters færd på tværs af

vejen, bør i høj grad medtages i de samfundsøkonomiske vurderinger i de tilfælde, hvor systemer med dynamiske tavler opsættes på strækninger med krydsende trafikanter, eller medfører at en del af trafikken flyttes til andre strækninger. I sidstnævnte tilfælde øges barriereeffekten på de strækninger, der får tilført mertrafik, og mindskes på de strækninger, hvor trafikken flyttes fra (såfremt dette er strækninger med krydsende lette trafikanter). Ikke værdisatte effekter medtages i den endelige resultatvurdering med en angivelse af, i hvilken udstrækning disse effekter påvirkes af det pågældende dynamiske tavlesystem, således den endelige samfundsøkonomiske vurdering også baseres på disse ikke uvæsentlige effekter.

6.2.4 Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger

Kalkulationsperiode

Kalkulationsperioden for et projekt sættes oftest til projektets levetid, hvilket for driftsrelaterede projekter svarer til levetiden for nyt materiel (Trafikministeriet, 2003). Dynamiske tavleprojekter er opbygget af forskellige IT-systemer og andre elektroniske enheder, som må forventes at have en noget kortere levetid end et normalt anlægsprojekt. Det anbefales at foretage en individuel vurdering af kalkulationsperioden ved dynamiske tavlesystemer ud fra en vægtning af forventet funktionsperiode, forventet levetid fra fabrikanterne af de forskellige enheder samt af det forventede fornyelsesomfang.

Kalkulationsrente

Samfundsøkonomiske beregninger over et projekts levetid foretages på baggrund af en fastsat kalkulationsrente. Kalkulationsrentens overordnede formål er at gøre værdien af nutidige og fremtidige effekter sammenlignelige. Ved projekter med dynamiske tavler anbefales som for andre anlægsrelaterede projekter på transportområdet, at anvende den af Transport og Energiministeriet fastsatte kalkulationsrente der pt. er på 6 % (Trafikministeriet, 2006).

Forvridningstab og nettoafgiftsfaktoren

Værdisætning af effekter og omkostninger i forbindelse med udarbejdelsen af samfundsøkonomiske vurderinger for dynamiske tavleprojekter sker på baggrund af markedsprismetoden, hvor værdien af effekter og omkostninger opgøres i markedspriser også kaldet forbrugspriser, og svarer i al enkelthed til de priser, forbrugerne betaler. Markedsprismetoden er den generelt anvendte metode, hvorved vurdering og sammenligning af projekter kan foregå på et konsistent grundlag.

Nettoafgiftsfaktoren anvendes i denne forbindelse med korrektion af offentligt udførte projekter, således disse værdimæssigt sidestilles med projekter udført i privat regi. Gevinsterne

ved projekter værdisættes ud fra markedspriser, og er derfor inklusive skatter og afgifter. Udgifter ved projekter udført i privat regi er også indeholdt skatter og afgifter, hvilket ikke umiddelbart er tilfældet for offentligt udførte projekter. Korrekt sammenholdning af projektrelaterede gevinster og udgifter forudsætter en opgørelse af disse i samme værdimæssige enhed, altså markedspriser, hvorfor udgifter for offentligt udførte projekter korrigeres for ikke at være omfattet af skatter og afgifter. Uden anvendelse af nettoafgiftsfaktoren vil offentligt udførte projekter altid være billigere end tilsvarende projekter udført i privat regi. (Trafikministeriet, 2003)

Statsfinansierede projekter tillægges yderligere et forvridningstab, hvilket korrigerer for, at projekterne er finansierede via skatter og ikke af forbrugerne. Forvridningen opstår ved, at skatternes tilstedeværelse forårsager en generel adfærdsændring overfor eksempelvis arbejdsviljen, da lavere skat vil medføre en stigende beskæftigelse. Dette velfærdstab som følge af skatternes tilstedeværelse skal derfor tillægges udgifterne for de offentlige projekter. Dynamiske tavleprojekter er offentligt finansierede, hvorfor udgifterne til disse tillægges et forvridningstab. (Trafikministeriet, 2003) Forvridningstabet er pt. opgjort til 20 % af de offentligt finansierede projektudgifter (Trafikministeriet, 2006).

6.2.5 Samfundsøkonomiske evalueringskriterier

Vurdering af hvorvidt et projekt er samfundsøkonomisk forsvarligt at implementere, kan foretages ved forskellige evalueringskriterier. Formålet med disse kriterier er dels at undersøge, om et projekt er samfundsøkonomisk rentabelt, og dels at have fælles evalueringskriterier til sammenligning af og prioritering mellem forskellige projekter. Dynamiske tavlesystemer anbefales at benytte følgende evalueringskriterier.

Benefit-Cost forhold

Situationer, hvilket oftest er tilfældet, hvor der ikke er ubegrænsede ressourcer til implementering af forskellige projekter, anvendes benefit-cost forholdet til prioritering af projekter. Benefit-cost forholdet beregnes som

$$\frac{NNV}{\sum_{t=0}^T \frac{C_{off}}{(1+r)^t}}$$

Hvor

NNV = netto - nutidsværdien

C_{off} = de direkte nettoomkostninger for de offentlige kasser

r = kalkulationsrenten

T = kalkulationsperioden

(Trafikministeriet, 2003)

Resultatet af ovenstående beregning, hvor netto-nutidsværdien sættes i forhold til de direkte nettoomkostninger, beskriver det samfundsøkonomiske afkast pr. investeret krone.

Nutidsværdi

Nutidsværdien for et projekt anvendes som en fælles værdi til at udtrykke effekter og omkostninger. Det er nødvendigt at tilbagediskontere fremtidige effekter og omkostninger til det valgte beregningsår, samt fremdiskontere effekter og omkostninger der ligger forud for beregningsåret. Netto-nutidsværdien beregnes overordnet ud fra følgende

$$NNV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Hvor

NNV = netto - nutidsværdien

B_t = projektets fordele (benefits) i periode t

C_t = projektets ulemper (costs) i periode t

r = kalkulationsrenten

T = kalkulationsperioden

(Trafikministeriet, 2003)

Et projekt er samfundsøkonomisk rentabelt såfremt netto-nutidsværdien er større end nul, og bør derfor implementeres. Budgetbegrænsninger og andre faktorer bevirker imidlertid, at det ikke kan tillades at implementere alle disse projekter. Positive netto-nutidsværdier angiver tillige, at et projekt giver et afkast større end kalkulationsrenten.

Intern rente

Den interne rente for et projekt betegnes som den rente, hvormed nutidsværdien bliver nul og angiver derfor det årlige samfundsøkonomiske afkast for et projekt. Et projekts interne rente beregnes som

$$\sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1 + IR)^t} = 0$$

Hvor

B_t = projektets fordele (benefits) i periode t

C_t = projektets ulemper (costs) i periode t

r = kalkulationsrenten

T = kalkulationsperioden

IR = den interne rente

(Trafikministeriet, 2003)

Såfremt den interne rente for et projekt er større end kalkulationsrenten, antages ofte, at projektet er rentabelt. Beregning af den interne rente er en ikke ligeså konsistent vurderingsmetode som de øvrigt beskrevne evalueringskriterier. Årsagen til dette er, at der kan risikeres at blive beregnet flere interne renter for et projekt, hvilket forekommer hvis summen af effekter og omkostninger svinger mellem positive og negative værdier over årene, der beregnes for. Der vil herved være flere nulpunkter (hvor nettonutidsværdien er nul) og derfor flere interne renter. Den største risiko for disse usikkerheder forekommer ved mindre anlægsprojekter, da disse ikke har en stor investeringsbyrde de første år, og med stor sandsynlighed medfører svingende effekter over årene. Dynamiske tavlesystemer vurderes i denne sammenhæng som værende mindre projekter sammenlignet eksempelvis med et helt motorvejsanlægsprojekt. Samfundsøkonomiske vurderinger for disse projekter anbefales derfor at koncentreres omkring beregning af henholdsvis benefit-cost forholdet og netto-nutidsværdien.

6.2.6 Følsomhedsanalyser

Grundet de store usikkerheder der er forbundet med de samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavler i Danmark, er det essentielt med udarbejdelse af omfattende følsomhedsanalyser. Usikkerhedsvurderinger af blandt andet opgørelse og værdisætning af effekter og omkostninger ved projekterne bør lægges til grund for følsomhedsanalyser, da det herved afdekkes, hvilke faktorer der bygger på relativt spinkle antagelser, og derfor i høj grad kan påvirke det endelige resultat af de samfundsøkonomiske vurderinger. Følsomhedsanalyser bør ligeledes anvendes til at undersøge antagelserne og forudsætningerne for de faktorer, som har størst indflydelse på det endelige resultat, og hvis antagelser er veldokumenterede, da relativt små ændringer i antagelserne her har stor betydning for resultatet. Analyserne bør først indeholde en beskrivelse af forudsætningernes robusthed og efterfølgende undersøge robustheden ved at variere de antagede forudsætninger for derved at klarlægge deres reelle betydning og indvirkning på det endelige resultat af den samfundsøkonomiske vurdering. Trafikprognoser og trafiksimuleringer for dynamiske tavleprojekter er som før omtalt behæftet med store

usikkerheder, indtil der foreligger et solidt dansk erfaringsgrundlag, hvorfor en vurdering af disse også skal indgå som en vigtig del af følsomhedsanalyserne. Konklusionerne fra følsomhedsanalyserne anvendes i den endelige vurdering af projekterne, da samfundsøkonomiske vurderinger ikke giver et endeligt og entydigt resultat med en talværdi men derimod mere en velbegrundet anbefaling.

6.2.7 Resultatpræsentation

Viderekommunikation af resultaterne fra de samfundsøkonomiske vurderinger er et væsentligt aspekt for den endelige anvendelse og tolkning af resultaterne. Eftersom samfundsøkonomiske vurderinger både indeholder samfundsøkonomiske beregninger og kvalitative vurderinger af de effekter, som ikke kan værdisættes samt af usikkerheder og følsomheder ved beregninger, er det essentielt, at både de kvantitative og kvalitative aspekter herved fremgår af den endelige resultatpræsentation. Det skal endvidere fremgå af resultatpræsentationen, hvorledes de forskellige elementer skal tolkes og vurderes, således at resultaterne efterfølgende anvendes hensigtsmæssigt.

6.3 Vurderingsrammens endelige struktur

Dynamiske tavler er som omtalt i kapitel 4 opdelt i tre overordnede kategoriseringer, indenfor hvilke de tre væsentligste tavletyper er dynamiske hastighedstavler, -informationstavler samt -advarselstavler. Effekterne ved og anvendelsen af de forskellige tavletyper er meget forskellig, hvorfor der udarbejdes særskilte vurderingsrammer for de tre dynamiske tavletyper. Større projekter med dynamiske tavler omfatter flere af disse tavletyper, og de samfundsøkonomiske vurderinger bør derfor indeholde en kombination af de relevante vurderingsrammer.

6.3.1 Dynamiske hastighedstavler

Vurderingsrammen for projekter med dynamiske hastighedstavler udarbejdes med udgangspunkt i den generelle beskrivelse af vurderingsrammens elementer ved samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavler, se afsnit 6.2. Der beskrives, hvilke faktorer det anbefales at medtage ved samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske hastighedstavler, og hvorledes disse anbefales at opgøres og værdisættes. Grundet de begrænsede danske erfaringsundersøgelser med anvendelsen af dynamiske hastighedstavler gives, hvor muligt, eksempler på forventede effekter på baggrund af udenlandske undersøgelser fra den udenlandske litteratur anvendt til litteraturstudiet. De udenlandske eksempler må ikke anvendes direkte, men kan give en indikation af, hvilken størrelsesorden de forventede effekter antages at have.

Basisalternativ og projekialternativer

Med udgangspunkt i aspekterne beskrevet i afsnit 6.2.1 opstilles basisalternativ og/eller projekialternativer for det konkrete projekt til anvendelse ved opgørelse af effekter ved en implementering af det konkrete projekt.

Relevante effekter og omkostninger

Samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske hastighedstavler anbefales at tage udgangspunkt i opstilling af beregninger og værdisætning af effekter og omkostninger, som det fremgår af tabel 6.1.

	"Mængdeberegning"	Værdisætning
Trafikantrelaterede effekter		
Gener ved anlæg	Ud fra tidligere erfaringer, ellers overslag over øget rejsetid og uheldsrisiko alt efter størrelse på konkret anlæg.	Overslag og værdier fra nøgletalskataloget ³
Gener ved drift	Vurderes på baggrund af de forventede vedligeholdelsesomkostninger	Ud fra forventede vedligeholdelsesomkostninger
Tid	Prognoseberegninger/trafiksimulering af samlet tidsforbrug, eller tidligere erfaringer. Den samlede rejsetid kan minimeres med op til 17,3 % ¹	Værdier fra nøgletalskataloget ³
Kørselsomkostninger	Prognoseberegninger/trafiksimulering af samlet tidsforbrug og gennemsnitshastigheder, eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ³
Eksterne effekter		
Uheld	Estimering af ændring i antal uheld ud fra prognoseberegninger/trafiksimulering eller tidligere erfaringer. Uheld kan reduceres med op til 5 – 17 % ²	Værdier fra nøgletalskataloget ³
Luftforurening	Estimering af ændring i luftforureningen ud fra den trafikale ændring beregnet ved prognoseberegninger/trafiksimulering eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ³
Støj	Estimering af støjniveauændring ud fra den trafikale ændring beregnet ved prognoseberegninger/trafiksimulering eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ³

Andre effekter		
Dataindsamling	Vurderes på baggrund af den forventede mængde dataindsamling samt mulige datatyper ud fra valg af detekteringsmetode (trafikmængder, gennemsnitshastigheder, trafiktæthed osv.)	Vurderet nytte ud fra forventede datamængde og -type
Omkostninger		
Anlægsomkostninger	Vurderes ud fra den samlede systemstørrelse indeholdende antal og type af tavler, antal portaler/master til opsætning, antal og type af detektorer, kommunikationsudstyr mellem systemenhederne, samt valg af styringssystem	Estimering ud fra priser fra producenter samt vurdering af udgifter til opsætning. Evt. på baggrund af priser til opsætning af lign. alm. tavler og portaltyper, hvortil tillægges udgifter til opsætning og tilkobling af de nødvendige IT-systemenheder
Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger	Estimeres på baggrund af den samlede systemstørrelse, hvorvidt der er automatisk eller manuel systemovervågning og den forventede levetid af de forskellige enheder	Vurderes ud fra priser på de forskellige systemenheder, overvågningsudgifter og priser til forsyning af de forskellige systemenheder. Kan også baseres på erfaringer fra lignende systemer
Restværdi	Estimeres ud fra ny anlægspris, kalkulationsperioden, systemets forventede levetid samt det forventede vedligeholdelses og fornyelsesomfang i kalkulationsperioden	Vurderes på baggrund af priser og udgifter på de under "mængdeberegning" beskrevne faktorer.

Tabel 6.1 Anbefaling til "mængdeberegning" og værdisætning af effekter og omkostninger ved projekter med dynamiske hastighedstavler. ¹ (Hegy et al., 2005), ² (Lee et al., 2006), ³ (Trafikministeriet, 2006)

Opgørelsen af effekter og omkostninger for dynamiske hastighedstavler kræver et forudgående og dybdegående arbejde med afdækning af både "mængder" og værdisætning, såfremt disse ikke ønskes baseret på til tider grove antagelser. Antagelserne estimeres, hvor muligt, ud fra eksisterende danske erfaringer. Udarbejdelsen af prognoser og trafikmodeller for scenarier med og uden dynamiske hastighedstavler anses som meget væsentligt for opnåelse af et fornuftigt vurderingsgrundlag. Den aktuelle anvendelse af implementerede dynamiske hastighedstavler afhænger i høj grad af trafikantadfærden overfor tavlerne, hvilket er en betydelig faktor, der i sidste ende afgør effekterne. Indtil konkret erfaring og viden omkring dette foreligger, vurderes ud fra det konkrete formål med hastighedstavlerne, hvilken generel adfærd der forventes. Eksempelvis vil hastighedsgrænser afspejlende den aktuelle trafikale situation

på en logisk måde opnå en højere accept hos bilister, end hastighedsgrænser som ikke appellerer logisk til bilisternes opfattelse af den aktuelle trafikale situation.

Ikke værdisatte effekter

Projekter udelukkende med dynamiske hastighedstavler påvirker, grundet deres fysiske størrelse, ikke de æstetiske forhold i en så væsentlig grad, at dette bør medtages ved samfundsøkonomisk vurdering af tavlerne. Såfremt hastighedstavlerne opsættes på vejstrækninger med krydsene lette trafikanter, medtages en vurdering af hastighedstavlernes forventede indflydelse på barriereeffekten, da hastighedsniveauet på en vejstrækning er den væsentligste indvirkende faktor på barriereeffekten.

Beregningsforudsætninger

Kalkulationsperioden for trafikledelsessystemer med dynamiske hastighedstavler vurderes for hvert projekt ud fra en vægtning af forventet funktionsperiode, forventet levetid fra fabrikanterne af de forskellige enheder samt af det forventede fornyelsesomfang.

Der anvendes den af Transport og Energiministeriet fastsatte kalkulationsrente på pt. 6 %.

Der medtages et forvriddingstab, som pt. er opgjort til 20 % af de offentligt finansierede projektudgifter, hvilket som for kalkulationsrenten altid kontrolleres, således der på beregningstidspunktet anvendes de aktuelle fastsatte værdier.

Nettoafgiftsfaktoren beregnes som forholdet mellem bruttonationalproduktet (BNP) og bruttofaktorindkomsten (BFI), og da disse størrelser er varierende over tid, skal der tages udgangspunkt i aktuelle værdier for henholdsvis BNP og BFI.

Følsomhedsanalyser

Samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske hastighedstavler er som før omtalt behæftet med flere usikkerheder, hvorfor det er særligt relevant med udførelsen af følsomhedsanalyser for herved at afdække betydningen af de forskellige antagelser. Ved opsætning af dynamiske hastighedstavler på vejstrækninger med store trafikmængder er ændringer i rejsetid og uheld de to effekter, der forventes at have størst indflydelse på det endelige resultat. Disse bør i høj grad underkastes en følsomhedsvurdering ved at variere de antagede eller ved trafiksimuleringer/prognoser beregnede "mængder" i både positiv og negativ retning for at afdække betydningen for det endelige resultat. Anlægsomkostningerne forventes at være forholdsvis små ved implementering af dynamiske hastighedstavler i forhold til de effekter, disse forventes at have, hvorfor anlægsomkostninger ligeledes bør medtages i en følsomhedsanalyse. Alle de relevante effekter og omkostninger beskrevet i tabel 6.1 anbefales at medtage i en følsomheds-

analyse, men ovennævnte faktorer er de, som minimum skal indgå i en følsomhedsanalyse grundet deres forventede store betydning for det endelige resultat.

Resultatpræsentation

Den endelige præsentation af resultaterne fra den samfundsøkonomiske vurdering af dynamiske hastighedstavler kan eksempelvis opstilles som vist i tabel 6.2.

Samfundsøkonomisk element	Mio. kr. i eks. 2007 priser
Trafikantrelaterede effekter	
Gener ved anlæg	
Gener ved drift	
Tid	
Kørselsomkostninger	
Eksterne effekter	
Uheld	
Luftforurening	
Støj	
Andre effekter	
Dataindsamling	
Omkostninger	
Anlægsomkostninger	
Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger	
Restværdi	
Evalueringskriterier	
Benefit-cost forhold	
Netto-nutidsværdi	
Ikke værdisatte effekter	Negativ/positiv indvirkning
Barriereeffekt	

Tabel 6.2 Eksempel på skematisk opstillet resultatpræsentation for dynamiske hastighedstavler

Det er i denne sammenhæng essentielt, at der til resultatpræsentationen medfølger en fyldestgørende kvalitativ beskrivelse omkring tolkning af resultaterne samt en samlet anbefalende vurdering af det endelige resultat, således resultattolkningen ledes væk fra udelukkende at omhandle talværdierne præsenteret i tabellen. De sammenfattende resultater fra følsomhedsanalyserne trækkes her frem, og bør indgå i den endelige anbefaling.

6.3.2 Dynamiske informationstavler

Vurderingsrammens elementer ved samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavler beskrevet i afsnit 6.2 indeholder de overordnede betragtninger til opstilling af vurderingsrammen for dynamiske informationstavler. Forskelligheden i anvendelsesmulighederne for dynamiske informationstavler nødvendiggør, at den konkrete og præcise anvendelse af informationstavlerne skal klarlægges forud for de samfundsøkonomiske vurderinger. Vurderingsrammen er udarbejdet generelt for dynamiske informationstavler, hvorfor der bør foretages individuelle vurderinger af de konkrete informationstavlers indvirkning på de relevante effekter, omkostninger og andre faktorer. Der er som for dynamiske hastighedstavler, hvor muligt, givet eksempler på forventede effekter på baggrund af udenlandske erfaringer, hvilke indikerer en størrelsesorden for de forventede effekter, og må derfor ikke direkte anvendes.

Basisalternativ og projekialternativer

Med udgangspunkt i aspekterne beskrevet i afsnit 6.2.1 opstilles basisalternativ og/eller projekialternativer for det konkrete projekt til anvendelse ved opgørelse af effekter ved en implementering af det konkrete projekt.

Relevante effekter og omkostninger

Anbefalinger til beregning og værdisætning af effekter og omkostninger for dynamiske informationstavler fremgår af tabel 6.3.

	"Mængdeberegning"	Værdisætning
Trafikantrelaterede effekter		
Gener ved anlæg	Ud fra tidligere erfaringer, ellers overslag over øget rejsetid og uheldsrisiko alt efter størrelse på konkret anlæg.	Overslag og værdier fra nøgletalskataloget ²
Gener ved drift	Vurderes på baggrund af de forventede vedligeholdelsesomkostninger	Ud fra forventede vedligeholdelsesomkostninger
Tid	Prognoseberegninger/trafiksimulering af samlet tidsforbrug, eller tidligere erfaringer. Der kan opnås samlede rejsetidsbesparelser på op til 29 % ¹	Værdier fra nøgletalskataloget ²
Kørselsomkostninger	Prognoseberegninger/trafiksimulering af samlet tidsforbrug og gennemsnitshastigheder, eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ²

Værdi af information	Spørgeskemaundersøgelser med Stated Preference analyser og/eller Willingness to Pay analyser af bilisternes betalingsvillighed overfor den konkrete information	Fremkommer automatisk ved spørgeskemaundersøgelserne beskrevet under ”mængdebe-regning”
Eksterne effekter		
Uheld	Estimering af ændring i antal uheld ud fra prognoseberegninger/trafiksimulering eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ²
Luftforurening	Estimering af ændring i luftforureningen ud fra den trafikale ændring beregnet ved prognoseberegninger/trafiksimulering eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ²
Støj	Estimering af støjniveauændring ud fra den trafikale ændring beregnet ved prognoseberegninger/trafiksimulering eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ²
Andre effekter		
Dataindsamling	Vurderes på baggrund af den forventede mængde dataindsamling samt mulige datatyper ud fra valg af detekteringsmetode (trafikmængder, gennemsnitshastigheder, trafiktæthed osv.)	Vurderet nytte ud fra forventede datamængde og -type
Effektivisering af Beredskab (kun ved hændelsesdetektering)	Estimeres på baggrund af forventet tidsbesparelse fra detektering af hændelse til igangsættelse af beredskab	Vurderes ud fra erfaringer fra andre områder med sparede omkostninger i forhold til igangsættelse af beredskab og sparet udrykningstid
Omkostninger		
Anlægsomkostninger	Vurderes ud fra den samlede systemstørrelse indeholdende antal og type af tavler, antal portaler/master til opsætning, antal og type af detektorer, kommunikationsudstyr mellem systemenhederne, samt valg af styringssystem	Estimering ud fra priser fra producenter samt vurdering af udgifter til opsætning. Evt. på baggrund af priser til opsætning af lign. alm. tavler og portaltyper, hvortil tillægges udgifter til opsætning og tilkobling af de nødvendige IT-systemenheder

Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger	Estimeres på baggrund af den samlede systemstørrelse, hvorvidt der er automatisk eller manuel systemovervågning og den forventede levetid af de forskellige enheder	Vurderes ud fra priser på de forskellige systemenheder, overvågningsudgifter og priser til forsyning af de forskellige systemenheder. Kan også baseres på erfaringer fra lignende systemer
Restværdi	Estimeres ud fra ny anlægspris, kalkulationsperioden, systemets forventede levetid samt det forventede vedligeholdelses og fornyelsesomfang i kalkulationsperioden	Vurderes på baggrund af priser og udgifter på de under ”mængdeberegning” beskrevne faktorer.

Tabel 6.3 Anbefaling til ”mængdeberegning” og værdisætning af effekter og omkostninger ved projekter med dynamiske informationstavler. ¹ (Messmer et al., 1998), ² (Trafikministeriet, 2006)

Den trafikale påvirkning forårsaget af den konkrete information viderebragt med dynamiske informationstavler afhænger som før omtalt af informationstypen. Det er i denne forbindelse essentielt, for opnåelse af et fornuftigt vurderingsgrundlag, enten at kunne skele til lignende danske erfaringer eller på baggrund af trafiksimuleringer at estimere den pågældende informations påvirkning af trafikantadfærden og derfor trafikafviklingen. Grundet manglende rapportering af specifikke danske erfaringer med dynamiske informationstavler er det ikke muligt, at pege på konkrete informationstyper, som indvirker på trafikafviklingen, og derfor ikke i hvilken udstrækning de indvirker. Gennemarbejdede trafiksimuleringer på baggrund af adfærdsundersøgelser er på nuværende tidspunkt det vigtigste fokusområde for udarbejdelsen af samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske informationstavler.

Ikke værdisatte effekter

Dynamiske informationstavler opsættes ofte på større skilteportaler, hvorfor der i disse tilfælde bør vurderes, hvilken indvirkning disse har på de æstetiske forhold. Forventes budskabet på de dynamiske informationstavler at påvirke bilisternes adfærd i forhold til enten at sænke hastigheden på vejstrækninger med krydsende lette trafikanter eller ændre rutevalg og derved flytte en del af trafikken, medtages en vurdering af ændringen i barriereeffekt enten blot af strækningen eller i sidstnævnte situation af vejnettet, som forventes påvirket af den flyttede trafik.

Beregningsforudsætninger

Kalkulationsperioden for trafikledelsessystemer med dynamiske informationstavler vurderes for hvert projekt ud fra en vægtning af forventet funktionsperiode, forventet levetid fra fabrikanten af de forskellige enheder samt af det forventede fornyelsesomfang.

Der anvendes den af Transport og Energiministeriet fastsatte kalkulationsrente på pt. 6 %.

Der medtages et forvridningstab, som pt. er opgjort til 20 % af de offentligt finansierede projektudgifter, hvilket som for kalkulationsrenten altid kontrolleres, således der på beregnings-tidspunktet anvendes de aktuelle fastsatte værdier.

Nettoafgiftsfaktoren beregnes som forholdet mellem bruttonationalproduktet (BNP) og bruttofaktoringkomsten (BFI), og da disse størrelser er varierende over tid, skal der tages udgangspunkt i aktuelle værdier for henholdsvis BNP og BFI.

Følsomhedsanalyser

Samtlige relevante effekter og omkostninger ved dynamiske informationstavler beskrevet i tabel 6.3 bør indgå i følsomhedsanalyser. Rejsetid, uheld og anlægsomkostninger skal minimum indgå som en del af følsomhedsanalyserne af samme begrundelse som udarbejdelse af følsomhedsanalyser for dynamiske hastighedstavler. Værdien af tavleinformation for bilerne vurderes tillige at have en stor effekt på de endelige resultater for dynamiske informationstavler, da denne er styrende for den udviste kørselsadfærd, og eksempelvis i tilfælde af køinformation kan være med til at nedsætte stressniveauet hos trafikanterne. Informationsværdien bør derfor også medtages som en del af følsomhedsanalyserne.

Resultatpræsentation

Samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske informationstavler kan eksempelvis ende ud i en resultatpræsentation, som det fremgår af tabel 6.4.

Samfundsøkonomisk element	Mio. kr. i eks. 2007 priser
Trafikantrelaterede effekter	
Gener ved anlæg	
Gener ved drift	
Tid	
Kørselsomkostninger	
Værdi af information	
Eksterne effekter	
Uheld	
Luftforurening	
Støj	
Andre effekter	
Dataindsamling	
Effektivisering af beredskab	
Omkostninger	
Anlægsomkostninger	
Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger	
Restværdi	
Evalueringskriterier	
Benefit-cost forhold	
Netto-nutidsværdi	
Ikke værdisatte effekter	Negativ/positiv indvirkning
Æstetiske forhold	
Barriereeffekt	

Tabel 6.4 Eksempel på skematisk opstillet resultatpræsentation for dynamiske informationstavler

Resultatpræsentationen skal ligeledes indeholde en kvalitativ beskrivelse af resultattolkningen samt en endelig vurdering af de forudgående samfundsøkonomiske vurderinger specielt med fokus på en vægtning af resultaterne fra følsomhedsanalyserne.

6.3.3 Dynamiske advarselstavler

Opstilling af vurderingsrammen for dynamiske advarselstavler tager som for de andre tavletyper også udgangspunkt i den generelle beskrivelse af vurderingsrammens elementer ved samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavler, se afsnit 6.2. Der er som beskrevet i afsnit 4.4.3 opsat dynamiske køadvarselstavler ved Vejlefyordbroen, fra hvilket det anbefales at anvende erfaringer og effekter, når disse foreligger, til samfundsøkonomiske vurderinger af lignende projekter.

Basisalternativ og projekialternativer

Med udgangspunkt i aspekterne beskrevet i afsnit 6.2.1 opstilles basisalternativ og/eller projekialternativer for det konkrete projekt til anvendelse ved opgørelse af effekter ved en implementering af det konkrete projekt.

Relevante effekter og omkostninger

Samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske advarselstavler anbefales at tage udgangspunkt i beregning og værdisætning af effekter og omkostninger, som det fremgår af tabel 6.5

	"Mængdeberegning"	Værdisætning
Trafikantrelaterede effekter		
Gener ved anlæg	Ud fra tidligere erfaringer, ellers overslag på baggrund af den forventede anlægsperiode	Overslag og værdier fra nøgletalskataloget ¹
Gener ved drift	Vurderes på baggrund af de forventede vedligeholdelsesomkostninger	Ud fra forventede vedligeholdelsesomkostninger
Tid	Prognoseberegninger/trafiksimulering af samlet tidsforbrug, eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ¹
Kørselsomkostninger	Prognoseberegninger/trafiksimulering af samlet tidsforbrug og gennemsnitshastigheder, eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ¹
Eksterne effekter		
Uheld	Estimering af ændring i antal uheld ud fra prognoseberegninger/trafiksimulering eller tidligere erfaringer	Værdier fra nøgletalskataloget ¹
Luftforurening	Kan undlades grundet lille forventet påvirkning, ellers vurdering ud fra forventet hastighedsnedsættelse grundet det konkrete advarselsskilt	Værdier fra nøgletalskataloget ¹
Støj	Kan undlades grundet lille forventet påvirkning, ellers vurdering ud fra forventet hastighedsnedsættelse grundet det konkrete advarselsskilt	Værdier fra nøgletalskataloget ¹
Andre effekter		

Dataindsamling	Vurderes på baggrund af den forventede mængde dataindsamling samt mulige datatyper ud fra valg af detekteringsmetode (trafikmængder, gennemsnitshastigheder, trafiktæthed osv.)	Vurderet nytte ud fra forventede datamængde og -type
Omkostninger		
Anlægsomkostninger	Vurderes ud fra den samlede systemstørrelse indeholdende antal og type af tavler, antal portaler/master til opsætning, antal og type af detektorer, kommunikationsudstyr mellem systemenhederne, samt valg af styringssystem	Estimering ud fra priser fra producenter samt vurdering af udgifter til opsætning. Evt. på baggrund af priser til opsætning af lign. alm. tavler og portaltyper, hvortil tillægges udgifter til opsætning og tilkobling af de nødvendige IT-systemenheder
Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger	Estimeres på baggrund af den samlede systemstørrelse og den forventede levetid af de forskellige enheder	Vurderes ud fra priser på de forskellige systemenheder og priser til forsyning af de forskellige systemenheder. Kan også baseres på erfaringer fra lignende systemer
Restværdi	Estimeres ud fra ny anlægspris, kalkulationsperioden, systemets forventede levetid samt det forventede vedligeholdelses og fornyelsesomfang i kalkulationsperioden	Vurderes på baggrund af priser og udgifter på de under "mængdeberegning" beskrevne faktorer.

Tabel 6.5 Anbefaling til "mængdeberegning" og værdisætning af effekter og omkostninger ved projekter med dynamiske advarselstavler. ¹ (Trafikministeriet, 2006)

Dynamiske advarselstavler kan, som det fremgår af tabel 6.5 undlade at få medregnet de eksterne effekter luftforurening og støj ved de samfundsøkonomiske vurderinger. Rationalet bag denne grove antagelse er, at dynamiske advarselstavler hovedsageligt opsættes på lokaliteter, hvor den primære funktion med tavlerne er at minimere uheldsrisikoen. Såfremt tavlerne opsættes på lokaliteter, hvor disse forventes at influere betydeligt på eksempelvis hastighedsniveauet i forhold til situationen foruden tavleimplementering, er der naturligvis god fornuft i at medtage effekterne for luftforurening og støj som en del af de eksterne effekter. Opgørelsen af effekter og omkostninger for dynamiske advarselstavler er som for de to andre dynamiske tavletyper, behæftet med store usikkerheder, inden der foreligger et solidt dansk erfaringsgrundlag at tage udgangspunkt i.

Ikke værdisatte effekter

Dynamiske advarselstavler vurderes som ved dynamiske hastighedstavler ikke at påvirke de æstetiske forhold i nævneværdig grad grundet deres normalt beskedne fysiske størrelse. Forventes de dynamiske advarselstavler at nedsætte hastighedsniveauet på vejstrækninger med krydsende lette trafikanter, medtages en vurdering af den herved forventede påvirkning af barriereeffekten, da hastighedsniveauet på en vejstrækning som før omtalt er den væsentligste indvirkende faktor på barriereeffekten.

Beregningsforudsætninger

Kalkulationsperioden for trafikledelsessystemer med dynamiske advarselsstavler vurderes for hvert projekt ud fra en vægtning af forventet funktionsperiode, forventet levetid fra fabrikanterne af de forskellige enheder samt af det forventede fornyelsesomfang.

Der anvendes den af Transport og Energiministeriet fastsatte kalkulationsrente på pt. 6 %.

Der medtages et forvridningstab, som pt. er opgjort til 20 % af de offentligt finansierede projektudgifter, hvilket som for kalkulationsrenten altid kontrolleres, således der på beregningstidspunktet anvendes de aktuelle fastsatte værdier.

Nettoafgiftsfaktoren beregnes som forholdet mellem bruttonationalproduktet (BNP) og bruttofaktorindkomsten (BFI), og da disse størrelser er varierende over tid, skal der tages udgangspunkt i aktuelle værdier for henholdsvis BNP og BFI.

Følsomhedsanalyser

Det er svært at forudsige de præcise effekter af en implementering af dynamiske advarselsstavler, foruden at de burde have trafiksikkerhedsmæssig effekt. Det anbefales derfor i første omgang at underkaste samtlige effekter og omkostninger for følsomhedsanalyser. Ved opbygning af et erfaringsgrundlag omkring dynamiske advarselstavler lægges hovedvægten på udarbejdelsen af følsomhedsanalyser for de herved fundne væsentligste effekter og omkostninger.

Resultatpræsentation

Et eksempel på en endelig resultatpræsentation af samfundsøkonomiske vurderinger for dynamiske advarselstavler fremgår af tabel 6.6.

Samfundsøkonomisk element	Mio. kr. i eks. 2007 priser
Trafikantrelaterede effekter	
Gener ved anlæg	
Gener ved drift	
Tid	
Kørselsomkostninger	
Eksterne effekter	
Uheld	
(Luftforurening)	
(Støj)	
Andre effekter	
Dataindsamling	
Omkostninger	
Anlægsomkostninger	
Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger	
Restværdi	
Evalueringskriterier	
Benefit-cost forhold	
Netto-nutidsværdi	
Ikke værdisatte effekter	Negativ/positiv indvirkning
Barriereeffekt	

Tabel 6.6 Eksempel på skematisk opstillet resultatpræsentation for dynamiske advarselstavler

Resultatpræsentationen skal ligeledes indeholde en kvalitativ beskrivelse af resultattolkningen samt en endelig vurdering af de forudgående samfundsøkonomiske vurderinger specielt med fokus på en vægtning af resultaterne fra følsomhedsanalyserne. Årsagen til at både luftforurening og støj er angivet i parentes, er den forømtalte argumentation om, at disse i hovedparten af projekterne med dynamiske advarselstavler kan undlades i den samfundsøkonomiske vurdering.

6.4 Opsamling og videre anbefalinger

De begrænsede og manglende erfaringer med dynamiske tavler i Danmark som nævnt flere steder ved beskrivelsen af de samfundsøkonomiske vurderingsrammer medfører, at de forskellige vurderinger og antagelser flere steder er behæftede med store usikkerheder. Det er derfor essentielt at udarbejde grundige følsomhedsanalyser og tydeliggøre alle usikkerheder gennem de samfundsøkonomiske vurderinger, indtil der foreligger et solidt erfaringsgrundlag.

Fremtidigt fokus med hensyn til samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavler bør bl.a. lægges på at kortlægge adfærden overfor dynamiske tavler og at lave en systematisk erfaringsopsamling og vurdering af nye projekter med dynamiske tavler i Danmark, således ”mængderne” og værdisætningen kan udarbejdes så præcist som muligt.

Trafiksimulering ved opstilling af trafikmodeller kan i de fleste tilfælde anvendes som et godt redskab til prognoseberegninger specielt ved dynamiske hastigheds og -advarselstavler, men er forbundet med visse komplikationer at anvende ved dynamiske informationstavler. Komplikationerne opstår ved, at trafikmodellerne forudsætter, at bilisterne er fuldt informerede, hvilket ikke er tilfældet ved dynamisk information eksempelvis omkring rutevejledning. Den føromtalt erfaringsopsamling specifikt omkring dynamiske informationstavler og adfærden over for den enkelte informationstype vil ved indarbejdning i trafikmodeller medføre at disse kan anvendes ved dynamiske informationstavler. Dette forudsætter naturligvis, at det er den eksakt samme information, der er undersøgt med hensyn til bilistadfærd, og som skal indarbejdes i en trafikmodel.

7 Perspektivering

Dynamiske tavler er som før omtalt et trafikteknisk område, der ikke er anvendt i en særlig stor udstrækning i Danmark, hvorfor der her ligger uudnyttede anvendelsesmuligheder. Andre teknologier såsom in-car systemer der videregiver den samme information som dynamiske tavler, kan i en nær fremtid danne en stor konkurrence til tavlerne, da teknologien omkring dynamisk trafikinformation er i konstant udvikling. Teknikken omkring dynamiske tavler må, på bekostning af in-car systemer, engang forventes at blive forældet, men det store spørgsmål er i denne forbindelse, hvornår dette bliver en realitet. Med udgangspunkt i udenlandske erfaringer beskrevet i afsnit 4.6, beskrives fremtidige muligheder ved implementering af dynamiske tavler i Danmark efterfulgt af fremtidige begrænsninger grundet konkurrencen fra in-car systemer.

7.1 Fremtidige muligheder

Dynamiske tavlers udviklingspotentiale i Danmark afhænger blandt andet af, i hvilket omfang dynamiske tavler evner at tilpasse og reelt regulere trafikken under aktuelle danske trafikale forhold. Sammenligning med anvendelse af dynamiske tavler i udlandet afslører flere muligheder end allerede anvendt i Danmark. Kulturelle og andre forskelle forårsager en hindring mod en direkte overførsel af disse teknologier og erfaringer til en dansk kontekst. Ved beskrivelsen af fremtidige muligheder med implementering af dynamiske tavler angives ligeledes hvilke udfordringer og faktorer, der i denne forbindelse bør tages højde for og hvordan.

Eksisterende dynamiske tavler i Danmark er hovedsageligt placeret ved motorveje, hvorfor der er fremtidige udviklingsmuligheder med anvendelse af dynamiske tavler til forbedring af trafikafviklingen og minimering af uheldsrisikoen på det mere sekundære vejnet. Dynamiske hastighedstavler og informationstavler ved t-kryds og lokaliteter med sammenfletning af en sekundærstrøm med en primærstrøm som beskrevet i afsnit 4.6.2 er eksempler på fremtidige implementeringsmuligheder. Disse svenske erfaringer med anvendelse af dynamiske tavler kræver grundige vurderinger af, hvorvidt disse er praktisk anvendelige under danske forhold, før en dansk implementering kan finde sted.

Rutevalgsændring i forbindelse med dynamiske informationstavler indeholder flere aspekter anvendt og undersøgt i udlandet, afsnit 4.6.1, som ikke anvendes på nuværende tidspunkt i Danmark. Opsætning af dynamiske tavlesystemer på et større vejnet til rutevejledning og derved bedre udnyttelse af den samlede kapacitet på vejnettet er et aspekt, som anbefales at

undersøge nærmere. Dette er principielt samme overordnede idé som tidligere forsøgt anvendt ved Aalborg til udnyttelse af den samlede kapacitet af Limfjordsbroen og Limfjordstunnelen til sikring af en bedre samlet trafikafvikling over Limfjorden (Vithen et al., 1995). Den teknologiske udvikling siden forsøget ved Aalborg indenfor dynamisk tavler med hurtigere og mere effektive IT-systemer samt anvendelsen af lysende og dermed mere opmærksomhedstiltrækkende tavler medfører, at det anbefales at undersøge anvendelsen af moderne dynamiske tavlesystemer til forbedring af trafikafviklingen under nuværende trafikale og teknologiske forhold. Procestiden fra registrering af trafikdata til tavleinformering er væsentligt reduceret med de nyere dynamiske tavlesystemer (Kulovits et al., 2005), hvorfor pålideligheden af systemerne ligeledes forventes at være væsentligt forbedret grundet muligheden for mere aktuelle tavleinformationer. Danske bilisters rutevalgsadfærd overfor forskellige informationstyper anbefales undersøgt forinden en implementering, da det herved er muligt at målrette den dynamiske informationsskiltning til at påvirke ønskede trafikantgrupper og derved flest bilister. Udnyttelsen af den samlede kapacitet på et større vejnet med dynamiske tavlesystemer vurderes at være et væsentligt fremtidigt redskab til afhjælpning af stigende problemer med trafikafvikling specielt omkring de større byer i Danmark.

Trafikantadfærd overfor skiltningen på dynamiske tavler er en af de væsentligste faktorer for opnåelse af den ønskede anvendelse af tavlerne og derved den ønskede adfærdspåvirkning. Den generelle trafikantadfærd og trafikkultur i Danmark bliver i stigende grad mere aggressiv og egoistisk (Rådet for større færdselssikkerhed, 2004) og (Jørgensen, 2007), hvilket netop er den modsatte adfærd, end den som ønskes udvist ved dynamisk skiltning. Eksempelvis ønskes en udvist en rolig kørselsadfærd ved skiltning af kø og et lavere hastighedsniveau ved en hastighedssænkning for at minimere problemerne med tilbagestuvning og derved sikre en bedre trafikafvikling. I denne sammenhæng ses dynamiske tavler som et af to væsentlige redskaber til at sikre en bedre trafikafvikling og en derved minimeret uheldsrisiko. Det andet redskab skal fokusere på at opnå en generel ændring af den føromtalte aggressive og egoistiske trafikantadfærd og trafikkultur.

Hastighedsoverskridelse, der ofte er en af følgerne ved den aggressive trafikantadfærd (trafiksikkerhed, 2004), er den væsentligste specifikke trafikantadfærd at ændre, da bilisternes hastighed er afgørende for omfanget af uheld, køproblemer og derfor trafikafviklingen. ATK (Automatisk Trafik Kontrol), der omfatter politiets hastighedskontrol, har i flere år været anvendt, men ikke som permanente installationer i Danmark, hvorfor bilisterne ikke oplever en stor risiko for at blive opdaget ved hastighedsoverskridelse. En norsk undersøgelse af effekten af ATK konkluderede, at bilisternes hastighedsoverskridelse ikke blev påvirket af en stigning i bødetakster ved overskridelse af hastighedsgrænserne, da de sjældent oplevede ATK, og derfor opfattede det som værende forbundet med en lille risiko, at køre for stærkt. (Rune Elvik, 2004) Det anbefales derfor at opsætte permanent ATK sammen med opsætning

af dynamiske tavler på de lokaliteter, hvor de dynamiske tavlers formål er at afhjælpe trafikafviklingen. Dette er specielt tilfældet i og omkring de større danske byer og på det overordnede motorvejsnet ved flaskehalse såsom ved de større broer. Bilisterne vil herved få en bøde, hver gang de på disse lokaliteter overskrider hastighedsgrænsen, hvilket øjeblikkeligt vil ændre bilisternes hastighedsadfærd, eftersom de rammes direkte økonomisk (Rune Elvik, 2004) og (Jørgensen, 2007).

7.2 Fremtidige begrænsninger

Dynamiske tavlers fremtidige anvendelse begrænses af andre teknologier såsom in-car systemer, der i et længere fremtidsperspektiv forventes helt at kunne erstatte dynamiske tavlesystemer. Der gives følgende en kort beskrivelse af in-car systemer indeholdende de aspekter, som gør disse konkurrencedygtige overfor dynamiske tavler efterfulgt af en konkret vurdering af tidsrammen for et fuldt implementeret in-car system og den derved forventede samlede levetid for dynamiske tavlesystemer.

7.2.1 In-car informationssystemer

Trafikinformationer til bilister kan foruden visning på dynamiske tavler også tilbydes bilister inde i bilen i form af enten en onboard computer, et navigationssystem eller en radio. Trafikradio har været anvendt i mange år, men aktuel trafikinfo vist med navigationssystemer og på onboard computere er et område, der er på vej frem og med mange nye aspekter. Med radioinformation er det hovedsageligt kun de overordnede informationer vedrørende fremkommeligheden på vejnettet, som videregives til bilisterne såsom uheld eller vejarbejde og der ud fra afstedkomne problemer med trafikafviklingen. Computerbaserede systemer muliggør langt mere detaljerede oplysninger om det konkrete vejsystem, eksempelvis den aktuelle skiltevisning, hvorved den dynamiske skiltning bogstaveligt talt rykker ind i den enkelte bil.

Computer og navigationssystemer

Moderne navigationssystemer kan foruden at beregne og vise en ønsket rute, modtage aktuel trafikinformation og derudfra beregne en ruteomlægning, såfremt der er indtruffet et trafikuheld eller lignende på den oprindeligt beregnede rute. Navigationssystemernes display kan også anvendes til at vise trafikinformationer om eksempelvis den aktuelle hastighedsskilting, da de modtager data via GPS, hvormed disse informationer også kan videregives. De fleste navigationssystemer har indbygget et talemødul, der informerer bilister om, hvorledes de skal navigere rundt på vejnettet for at følge den foruddefinerede rute. Denne funktion vil også kunne anvendes til at informere om aktuelle forhold såsom nedsat hastighedsgrænse grundet en kø længere fremme. Herved undgås at bilister unødigt flytter opmærksomheden

fra vejen og over på navigationssystemets display for at modtage informationer om den aktuelle trafiksituation. (TomTom, 2007)



Figur 7.1 Eksempel på et bilnavigationssystem (TomTom, 2007)

Integrerede computersystemer er et område, der specielt fra de store bilproducenter arbejdes på at udvikle for at sikre en bedre trafikafvikling og derved give den bedst mulige serviceinformation til bilisterne. Det overordnede koncept for disse computersystemer er, at hvert køretøjs system fungerer som et trafikplanlægningsværktøj ved at indsamle data om de aktuelle forhold såsom hastigheden for det enkelte køretøj. Ideen er, at systemet skal være decentralt styret og at køretøjssystemerne skal kommunikere internt og derved videregive lokal information til gavn for andre bilister i området. Bil til bil kommunikationen har mange fordele i forhold til andre trafikinformationssystemer. Der er eksempelvis store økonomiske fordele, såfremt kommunikationssystemet bliver fast udstyr i nye biler. Det er i sidste ende bilisterne, som betaler for systemet, hvorved de trafikale myndigheder opnår en bedre trafikafvikling på vejnettet stort set uden omkostninger. Implementeringsperioden før systemet er fuldt funktionsdygtigt strækker sig selvsagt over en lang årrække, da det kræver, at mange køretøjer har systemet indbygget for at muliggøre den nødvendige og præcise datamængde til beskrivelse af den aktuelle trafiksituation. (Yang and Recker, 2005)

7.2.2 Vurdering af in-car systemer

In-car systemer har i mange år været under udvikling, specielt takket være de store bilproducenter, og teknologien er ved at nå et niveau, hvor en implementering i nye biler snart kan komme på tale. Et fuldt funktionsdygtigt system vil tage flere år om at opnås, da dette kræver, at mange bilister har systemerne indbygget i deres bil, og derfor udskifter deres bil til en ny med et indbygget in-car system. Skiltning med statiske og dynamiske tavler vil som minimum være en nødvendighed, indtil samtlige køretøjer på vejnettet har implementeret et informations- og kommunikationssystem helt erstattende skilteinformationen. Der kan argumenteres for, at den konventionelle skilteinformation skal bevares efter en fuldstændig im-

plementering af in-car systemer i tilfælde af fejl og sammenbrud på systemet. Dette kan sammenlignes med, at der ved signalregulerede kryds er placeret ubetinget vigepligtstavler for de sekundære trafikstrømme, som træder i kraft, såfremt signalreguleringen er ude af drift. Et andet aspekt er, at overgangen fra skiltning udenfor bilen til informationer inde i bilen medfører en radikal ændring af den danske trafikultur og trafikantadfærd, hvilket også vil betyde at en længere indkøringsperiode for in-car systemer er nødvendig før en succesfuld implementering er tilvejebragt. Ældre mennesker vil især have svært ved at overskue og tilpasse sig den nye in-car teknologi og derfor anvende de konventionelle skilte, da de foretrækker at anvende vante handlingsmønstre.

Opstilling af en konkret og entydig tidsramme for den fremtidige anvendelse af dynamiske tavlesystemer i Danmark er argumenteret ud fra ovenstående ikke mulig. In-car systemer er stadig under udvikling, og et fuldt funktionelt system vurderes at have en tidshorisont på minimum 15 til 20 år. Dynamiske tavlesystemer er derfor stadig aktuelle også set i et fremtidsperspektiv.

8 Konklusion

Dynamiske tavlesystemer i en dansk kontekst er et trafikteknisk- og trafikplanlægningsområde, der specielt omkring forbedring af trafikafviklingen og trafiksikkerheden på vejnettet er kommet i fokus. Erfaringsopsamlinger hovedsageligt omkring den udviste trafikantadfærd overfor de forskellige dynamiske tavle- og informationstyper er vurderet som den væsentligste faktor ved evaluering af de nuværende og fremtidige dynamiske tavlesystemer i Danmark.

Vurderingsrammerne opsat for henholdsvis dynamiske hastighedstavler, -informationstavler og -symboltavler ved samfundsøkonomiske vurderinger af dynamiske tavlesystemer anbefales at anvende som overordnede guidelines. Det er derfor nødvendigt for hvert enkelt projekt at foretage nuanceringer af vurderingsrammerne ved udarbejdelsen af samfundsøkonomiske vurderinger samt at kombinere vurderingsrammerne ved projekter indeholdende flere forskellige dynamiske tavletyper.

De forventede lave anlægsomkostninger ved implementering af dynamiske tavlesystemer set i forhold til de forventede trafikafviklings og trafiksikkerhedsmæssige effekter medfører, at det vurderes som værende samfundsøkonomisk rentabelt at opsætte dynamiske tavlesystemer. Opsætning af permanent automatisk trafikkontrol (ATK) kan effektivt sænke bilisternes hastighedsniveau og dermed forbedre effektiviteten af implementerede dynamiske tavler og øge de samfundsøkonomiske fordele ved tavlerne.

Anvendelsen af dynamiske tavlesystemer i et fremtidsperspektiv indeholder flere nye implementeringsmuligheder i Danmark. Med udgangspunkt i en anbefaling om at udføre adfærdsstudier om trafikantadfærd overfor konkrete dynamiske tavlesystemer er det vurderet som værende muligt at anvende dynamiske tavlesystemer til følgende koncepter inspireret af udenlandske erfaringer. Forbedring af trafiksikkerheden og trafikafviklingen ved sammenfletning af sekundære trafikstrømme med primære trafikstrømme, ved T-kryds og lignende lokaliteter, samt bedre udnyttelse af den samlede kapacitet på et større vejnet, specielt omkring de større byer, til forbedring af trafikafviklingen.

9

Referencer

ABDEL-ATY, M., DILMORE, J. & DHINSA, A. (2005) Evaluation of variable speed limits for real-time freeway safety improvement. *Accident Analysis & Prevention*, vol. 38, pp. 335-345.

ANDERSEN, M. V., BRO, P. S., NIELSEN, T. F. & THESBJERG, M. (2006) Parkeringsplanlægning i Aalborg Midtby. Vej- og Trafikteknik, 8. semester, gruppe 2, Aalborg Universitet, 8. juni 2006.

BONSALL, P. & PALMER, I. (2004) Modelling drivers' car parking behaviour using data from a travel choice simulator. *Transportation Research Part C*, vol. 12, pp. 321-347.

BOYLE, L. N. & MENNERING, F. (2003) Impact of traveler advisory systems on driving speed: some new evidence. *Transportation Research Part C*, vol. 12, pp. 57-72.

BUREAU, U. S. C. (2007a) *Population*, 17 - Resident Population--States: 1980 to 2005. Retrieved May 15, 2007, from <http://www.census.gov/compendia/statab/population/>

BUREAU, U. S. C. (2007b) *Transportation*, 1074 - State Motor Vehicle Registrations: 1980 to 2004. Retrieved May 15, 2007, from <http://www.census.gov/compendia/statab/transportation/>

CLAUSEN, F. & KRENK, F. (2006) Samfundsøkonomisk vurdering af trafikledelse. Opstilling af metoderamme og centrale forudsætninger. *Trafikdage*. Aalborg Universitet.

DANMARKS STATISTIK (2007a) Bestanden af køretøjer pr 1. januar efter køretøjstype, område og tid, BIL7, 1993-2007

DANMARKS STATISTIK (2007b) Trafikarbejdet på danske veje efter transportmiddel og tid, VEJ20, 1982-2004

DANMARKS STATISTIK (2007c) Nøgletal for befolkningen efter bevægelsesart, HISB3, 1990-2006

HEGYI, A., SCHUTTER, B. D. & HELLENDORRN, J. (2005) Optimal Coordination of Variable Speed Limits to Suppress Shock Waves. *Transactions on intelligent transportation system*, Vol. 6, pp. 102-112.

HENNEBERG, H. (2006) Entreprise E000310.14 IT-system for trafikledelse - Oversigt over styringsalgoritmer.

HERRSTEDT, L. (2003) Trafikanterers hastighedsadfærd - grundlæggende principper. *Dansk Vejtidskrift*, vol. 4, pp. 14-18.

HESTER, A. E., FISHER, D. L. & COLLURA, J. (2002) Drivers' Parking Decisions: Advanced Parking Management Systems. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 128, pp. 49-57.

JAMAR TECHNOLOGIES INC. (2007) *Software Packages*. Retrieved May 10, 2007, from <http://www.jamartech.com/software.html>

JOU, R.-C., LAM, S.-H., LIU, Y.-H. & CHEN, K.-H. (2005) Route switching behavior on freeways with the provision of different types of real-time traffic information. *Transportation Research Part A*, vol. 39, pp. 445-461.

JØRGENSEN, A. J. (2007) *Trafikkultur*, Aalborg Universitetsforlag, ISBN 978-87-7307-779-5.

KRAUSE, B. & ALTROCK, C. V. (1996) Intelligent Highway by Fuzzy Logic: Congestion Detection and Traffic Control on Multi-Lane Roads with Variable Road Signs. *INFORM Germany*.

KULOVITS, H., STÖGERER, C. & KASTNER, W. (2005) System Architecture for Variable Message Signs. *IEEE*, vol. 2, pp. 903-909.

LARSEN, L. (2005) Effekt af variable hastighedstavler på landeveje. *Dansk Vejtidskrift*, vol. 3, pp 53-56.

LEE, C., HELLINGA, B. & SACCOMANNO, F. (2006) Evaluation of variable speed limits to improve traffic safety. *Transportation Research Part C*, vol. 4, pp. 213-228.

SPG MEDIA LIMITED (2007a) *DataCollect Traffic Systems - Vehicle Detection Technology and Traffic Management Systems*. Retrieved May 15, 2007, from <http://www.roadtraffic-technology.com/contractors/detection/datacollect2/>

SPG MEDIA LIMITED (2007b) *EIS Electronic Integrated Systems - Sensor-Based Electronic Systems for Traffic Management*. Retrieved May 15, 2007, from <http://www.roadtraffic-technology.com/contractors/detection/eis/>

SPG MEDIA LIMITED (2007c) *Image Sensing Systems - Autoscope Video Vehicle Detection*. Retrieved May 15, 2007, from <http://www.roadtraffic-technology.com/contractors/detection/image/>

VMS LIMITED (2007) *MS4 SERIES Variable Message Sign*. Retrieved May 10, 2007, from <http://www.vmslimited.co.uk/ms4.html>

MESSMER, A., PAPAGEORGIOU, M. & MACKENZIE, N. (1998) Automatic control of variable message signs in the interurban Scottish highway network. *Transportation Research Part C*, Vol. 15, pp. 173-187.

PELSMACKER, P. D. & JANSSENS, W. (2007) The effect of norms, attitude and habits on speed behavior: Scale development and model building and estimation. *Accident Analysis & Prevention*, vol. 39, pp. 6-15.

RECARTE, M. A. & NUNES, L. M. (1996) Perception of Speed in an Automobile: Estimation and Production. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, vol. 2, pp. 291-304.

RUNE ELVIK, P. C. (2004) *Virkninger av økte satser for gebyr og forenklet forelegg på lovlydighet i trafikken*, Oslo, Transportøkonomisk institutt (TØI), ISBN 82-480-0434-1.

SIEMENS (1999) *Passive infrared detectors for traffic-actuated signal control*. Retrieved May 19, 2007, from www.siemens.com.co/siemensdotnetclient_andina/templates/get_download_Framework_1_1.aspx?id=59&type=PDFS

SISIOPIKU, V. P. & ELLIOTT, J. R. (2005) Active warning systems: Synthesis. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131, pp. 205-210.

SMULDERS, S. (1990) Control of freeway traffic flow by variable speed signs. *Transportation Research Record*, Vol. 24B, pp. 111-132.

TOMTOM (2007) *TomTom ONE XL Europe - Functionalities*. Retrieved May 22, 2007, from <http://www.tomtom.com/products/features.php?ID=347&Category=0&Lid=14>

TRAFIKMINISTERIET (2003) *Samfundsøkonomisk manual - anvendt metode og praksis på transportområdet*. ISBN 87-91013-36-4.

TRAFIKMINISTERIET (2006) *Nøgletalskatalog - til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet*. ISBN 87-91013-42-9.

RÅDET FOR STØRRE TRAFIKSIKKERHED (2004) *Rå og rethaveriske*. Retrieved May 20, 2007, from <http://www.rfsf.dk/33d000c>

ULLMAN, G. L. & ROSE, E. R. (2005) Evaluation of Dynamic Speed Display Signs. *Transportation Research Record*, Issue 1918, pp. 92-97.

VEJDIREKTORATET (1999a) Hæfte 1 - Forudsætninger for den geometriske udformning. *Veje og stier i åbent land*.

VEJDIREKTORATET (1999b) Hæfte 2 - Tracering. *Veje og stier i åbent land*.

VEJDIREKTORATET (2004) 7. *Maskinelle tællinger*. Retrieved May 17, 2007, from <http://www.vejdirektoratet.dk/publikationer/VDráp315/html/chapter09.htm>

VEJDIREKTORATET (2005) Hæfte 4.4 - Toplanskryds. *Veje og stier i åbent land*.

VEJDIREKTORATET (2006a) *Den nødvendige vejkapacitet og vedligeholdelse af vejnettet*. Retrieved May 31, 2007, from <http://www.vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=91084>

VEJDIREKTORATET (2006b) Variable tavler - Håndbog i brug af variable tavler. *Færdselsregulering*.

VEJDIREKTORATET (2007a) *Køvarsling skal nedbringe ulykkestal*. Retrieved May 29, 2007, from <http://www.vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=85673>

VEJDIREKTORATET (2007b) *Vejbygning med tæt trafik*. Retrieved May 5, 2007, from <http://www.trafikken.dk/wimpdoc.asp?page=document&objno=84723>

VITHEN, C., DÖRGE, L. & LUND-SØRENSEN, P. (1995) Resultater fra QUO VADIS projekt i Aalborg. *Trafikdage*. Aalborg, Aalborg Universitet.

VITHEN, C. & HENNEBERG, H. (2005) Udbygning af Motorring 3 - Beskrivelse af TL-systemer og trafikantinformationstjenester. Vejdirektoratet.

VITHEN, C. & KJEMTRUP, K. (2005) Test af variable tavler på Motorring 3. *Dansk Vejtidsskrift*, Vol. 3, pp. 6-7.

VÄGVERKET (2006) Variabel hastighed i korsingar - tillämpningsrapport. Borlänge, *Vägverket*, Trafikafdelingen.

WARDMAN, M., BONSALL, P. W. & SHIRES, J. D. (1997) Driver response to variable message signs: A stated preference investigation. *Transportation Research Part C*, Vol. 5, pp. 389-405.

YANG, X. & RECKER, W. (2005) Simulation studies of information propagation in a self-organizing distributed traffic information system. *Transport Research Part C*, Vol. 13, pp. 370-390.

ZHICAI, J., XIAOXIONG, Z. & HONGWEI, Y. (2004) Simulation Research and Implemented Effect Analysis of Variable Speed Limits on Freeway. *Intelligent Transportation Systems Conference*. Washington D.C. USA, pp. 894-898, ISBN 0780385004.

ZHOU, Y. & WU, J. (2006) The research on drivers' route choice behavior in the presence of dynamic traffic information. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*. Toronto, Canada, pp. 1304-1309, ISBN 1424400945.

AALBORG KOMMUNE (2007) *Aalborg Trafikinfo*. Retrieved April 24, 2007, from
[http://www.aalborg-
trafikinfo.dk/dynmenu/jump.asp?url=v1/01/pinfo/index.htm&n1=1&n2=1&n3=2](http://www.aalborg-trafikinfo.dk/dynmenu/jump.asp?url=v1/01/pinfo/index.htm&n1=1&n2=1&n3=2)

A Afstand til faste genstande

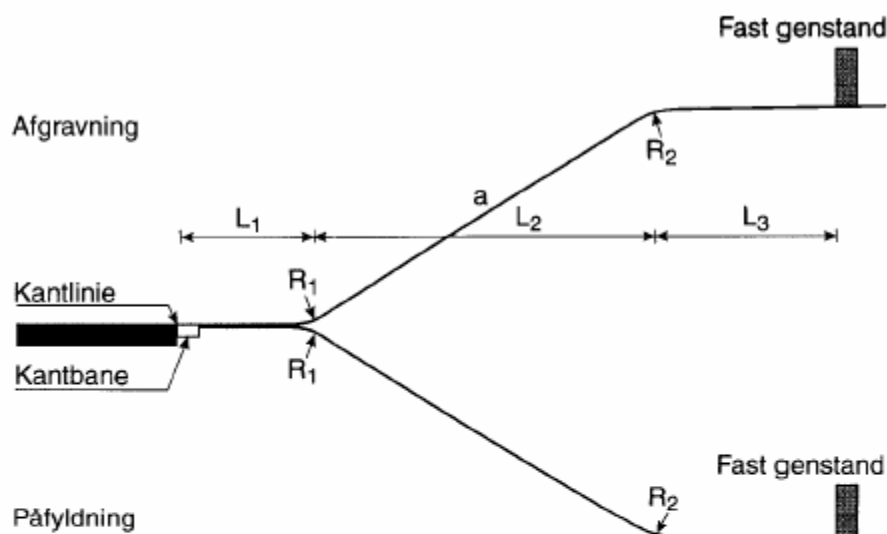
Ved vejanlæg etableres en sikkerhedszone, hvor påkørselsfarlige genstande ikke må placeres, da køretøjer som utilsigtet forlader kørebanen ønskes bragt sikkert til standsning indenfor sikkerhedszonen. Der kan enten ved opsætning af autoværn klasse A eller påkørselsdæmpere dispenseres fra at placere påkørselsfarlige genstande indenfor sikkerhedszonen. (Vejdirektoratet, 1999a)

Bredden af sikkerhedszonen fra kørebanekanten ved forskellige horisontalradier og plant terræn fremgår af figur a.1. Bredden afhænger af hastigheden V_0 , som køretøjerne forudsættes at forlade vejbanen med.

V_0 (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110
Horisontalradius (m)	Sikkerhedszonens bredde i plant terræn (m)							
≥ 1000 , eller lige vej	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
900	2,2	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	10,8
800	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	
700	2,4	3,6	4,8	6,5	7,8	9,1		
600	2,4	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1		
500	2,6	3,9	5,2	7,0	8,4			
400	2,8	4,2	5,6	7,0				
300	3,0	4,5	6,4	8,0				
200	3,4	5,1	7,2					
100	4,8	7,5						

Figur A.1 Sikkerhedszonens bredde på lige vej og i kurves yderside (Vejdirektoratet, 1999a)

Vejanlæg i enten påfyldning eller afgravning stiller større krav til beregning af sikkerhedszonen, og der benyttes her en beregningsmetode som vist på figur a.2.

**Afgravning:** $a \geq 3$: $3 > a \geq 2$, R_1 og $R_2 \geq 6$ m: $3 > a \geq 2$, R_1 eller $R_2 < 6$ m: $a < 2$:**Kan medregnes:** $L_1 + L_2 + L_3$ $L_1 + L_2 + L_3$ L_1 L_1 **Påfyldning:** $a \geq 5$ $5 > a \geq 3$, R_1 og $R_2 \geq 9$ m $5 > a \geq 3$, R_1 eller $R_2 < 9$ m $a < 3$ **Kan medregnes:** $L_1 + L_2 + L_3$ $L_1 + L_3$ L_1 L_1 **Figur A.2 Beregning af sikkerhedszonens bredde (Vejdirektoratet, 1999a)**

Årsagen til at der benyttes forskellige skråningselementer til beregningen af sikkerhedszonens bredde ved forskellige skråningsanlæg er, at hældningen af en skråning er afgørende for, hvorledes et køretøj decelererer, når det utilsigtet forlader kørebanen.

Nye eller eksisterende påkørselsfarlige genstande skal ved nye vejanlæg bringes udenfor sikkerhedszonen, hvilket ligeledes er gældende for nye påkørselsfarlige genstande ved eksisterende vejanlæg. Der kan dispenseres fra denne norm, når det gælder eksisterende genstande ved eksisterende vejanlæg, hvor det blot anbefales at fjerne eller at flytte genstandene udenfor sikkerhedszonen. Opsættelse af autoværn klasse A eller påkørselsdæmpere kan som før omtalt anvendes til at dispensere fra normens afstandskrav, hvis det eksempelvis af æstetiske årsager ønskes at bevare større træer langs vejen. (Vejdirektoratet, 1999a)