

Evaluering af SPOT I Køge

Azhar Saed og Lars Jørgensen, Center for Trafik- og Transportforskning, DTU

Indledning

De fleste signalanlæg i byområder er i Danmark samordnede i grønne bølger. Samordningen vil traditionelt variere med et antal programmer i løbet af et døgn, hvor der overordnet arbejdes med myldretidsprogrammer ved høj trafikbelastningsgrad og dag- og natprogrammer ved mindre trafikbelastninger. Variation i trafikken er dog langt større end at den kan indbefattes i 3-4 programmer, og den konstante stigning i trafikmængderne medvirker til at de ufleksible tidsstyrede samordninger ofte ikke afvikler trafikken optimalt.

Der udvikles derfor nye trafiksystemer, der bedre kan afvikle trafikken i signalregulerede kryds. SPOT er et system for dynamisk samordning af signalanlæg, der er udviklet af et selskab for kollektiv trafik i Torino. Målet med at udvikle SPOT har været at give den kollektive trafik absolut prioritet, samtidig med at den øvrige trafik har lige så gode eller bedre afviklingsforhold end tidligere.

I 1999 blev SPOT installeret for første gang i Danmark på Køge Ringvej. Dette paper beskriver, hvordan afviklingen af biltrafikken på Køge Ringvej for er blevet evalueret efter indførelsen af SPOT. Evalueringen er udført i forbindelse med et eksamensprojekt på DTU i samarbejde med Vejdirektoratet.

Dynamisk signalregulering med SPOT

SPOT er et decentralt system, hvor der monteres en industri PC i de enkelte styreapparater, der beregner den optimale signalveksling for det pågældende kryds i samspil med den optimale signalveksling for nabokrydsene. SPOT er meget fleksibelt, idet det ikke er bundet af nogen fast omløbstid. SPOT-enhederne kommunikerer med sine nabokryds via eget kommunikationsnet.

Til at registrere trafikken i SPOT anvendes traditionelle induktive spoler. Spolerne placeres i frakarterne til krydsene, så trafikken til det efterfølgende kryds registreres så tidligt som muligt. Spolerne i frakarterne benyttes også til at registrere svingende trafik. For tilfarter til krydset, der ikke kommer fra et SPOT reguleret nabokryds, er det vigtigt at registrere trafikken meget tidligt. Spolerne placeres derfor langt opstrøms i tilfarterne. Ud over de nævnte spoler kan der udpeges spoler, som registrerer kø i en bestemt afstand fra krydset (køspoler), samt busspoler til busprioritering i SPOT.

I SPOT enhederne modelleres trafikstrømmen ind mod de enkelte stoplinier. Tidshorisonten for trafikprofilen er 120 sekunder. I første del af dette interval vil der normalt være en gennemsnitlig trafikbelastning. Efterfølgende når informationer fra nabokrydsene og detektorerne indlæses, bliver ankomstprofilen mere detaljeret.

Svingene trafik bliver estimeret ud fra fordelingen af svingene trafik i det foregående omløb. Opbygningen af kø i de enkelte kørespor beregnes ud fra ankomsten trafik på tilfarten og afviklingen af køretøjer på tilfarten i grøntiden. Hvis der er problemer med tilbagestuvning af trafik til et nabokryds bliver beregning af kølængden suppleret med et skøn af kølængden ud fra hastigheden af køretøjerne over SPOT-spølen. Hvis hastigheden er høj vurderes, at der ikke er problemer med tilbagestuvning af trafik, men hvis hastigheden er lav tolkes det som om køen nærmer sig det foregående kryds.

I den enkelte SPOT-enhed optimeres trafikafviklingen også for en periode på 120 sekunder. Optimeringen er baseret på en inddeling af tidshorisonten i perioder på 3 sekunder. Efter hver 3 sekunders periode beregnes en ny optimeret signalplan ud fra den ankomne trafik og den aktuelle signalindstilling. Da tidsperioderne er den logiske enhed for SPOT kan signalplanen som beregnes have faseskift hvert tredje sekund. Ved konfigurerings af systemet opgives grænseværdierne for hver fase. Faserne tildeles en minimum tidsværdi, en anbefalet tidsværdi og en maksimum tidsværdi.

Optimeringen af trafikafviklingen i SPOT-enhederne sker ved en vægtning af forskellige parametre for trafikafviklingens kvalitet. Ved en almindelig installation vægtes forsinkelse, antal stop og tilbageblokering på indgående lænker, samt forsinkelsen for den kollektive trafik.

Når den optimale signalvisning er beregnet i SPOT computeren sendes ordre om statusændringer videre til styreapparatet. Det kontrolleres, at sikkerhedsmatricen for signalanlægget overholdes.

Internationale erfaringer med SPOT

På europæisk plan er SPOT blevet testet i ret mange EU projekter (Ørjan, T, 1999). Undersøgelserne har omfattet driftssikkerhed af systemet, dataudveksling, estimering af trafiktilstande, kapacitet af modellen, samt den trafikale effekt af systemet. I dette notat præsenteres kun nogle få resultater fra undersøgelserne af den trafikale effekt af systemet.

I Holland er SPOT blevet testet i 5 signalregulerede kryds på en indfaldsvej til Eindhoven. Installationen er både udført og evalueret af PEEK Trafik. Her er udgangspunktet for sammenligningen en manuelt optimeret signalplan med absolut prioritet til den kollektive trafik. Ændring i rejsetid ved indførelsen af SPOT i Eindhoven er angivet i tabel 1. Med SPOT har den kollektive trafik og biltrafikken samme rejsetid. Rejsetiden for den kollektive trafik er den samme som i det gamle system med absolut prioritet. I forsøget er ikke taget hensyn til, at trafikintensiteten er 6% højere i eftersituationen.

	Ændring i rejsetid for biler
Morgen (7-9)	-13 %
Formiddag (11-13)	-13 %
Eftermiddag (13-15)	-24 %
Eftermiddag (16-18)	-33 %
Totalt	-21 %

Tabel 1: Ændring i rejsetid som følge af indførelse af SPOT i Eindhoven.

I de nordiske lande har man erfaringer med SPOT fra Oslo, Bergen, Trondheim og Göteborg. I Oslo blev SPOT implementeret på en vigtig strækning for den kollektive trafik i 1995/96. Ændringerne i rejsetid er angivet i tabel 2. Det ses, at trafikken langs hovedvejen fik forbedringer ved indføring af kollektivprioritering med SPOT. Trafikken på sidevejene fik imidlertid længere rejsetider, og det er ikke vurderet om systemet som helhed er bedre for biltrafikken. Målet med at implementere SPOT i Oslo var også at give den kollektive trafik højere prioritet, og det fremgår klart, at det er lykkedes med store reduktioner af rejsetiderne for sporvognene.

	Sporvogn mod Centrum	Sporvogn fra Centrum	Øvrig trafik mod Centrum	Øvrig trafik fra Centrum
kl. 7.30-9.30	-20,8 % (*)	-29,2 % (*)	-0,6	-9,6 (*)
kl. 14.45-16.45	-35,7 % (*)	-35 (*)	-4,5	-30.3 (*)

Tabel 2: Ændring i forsinkelse som følge af indførelse af SPOT i Oslo (angiver at resultatet er signifikant)*

I Bergen har man installeret SPOT på en strækning, hvor de signalregulerede kryds ligger meget tæt på hinanden. Denne installation gav i første omgang dårlige resultater, idet SPOT ikke afviklede trafikken bedre end en traditionel tidsstyring. Problemet var at de tætliggende kryds ikke var bundet til at have grønt i medfase (samtidigt). Der blev derfor udviklet en SPOT version, der kunne tage specielle hensyn i beregningerne ved meget tætliggende kryds. Denne modificerede version af SPOT har reduceret forsinkelserne på strækningen i forhold til tidsstyringen.

SPOT installationen på Køge Ringvej

På Køge Ringvej har udgangspunktet for Roskilde Amt ved investeringen i et adaptivt trafikstyringssystem været et ønske om at optimere den generelle trafikafvikling på ringvejen. Samtidig ønsker man, at buslinierne på tværs af ringvejen prioriteres højere. I en traditionel samordning vil en øget prioritering af trafikken på langs af ringvejen komme til at gå ud over alle trafikanterne fra sideretningerne. I SPOT er det imidlertid muligt at forbedre trafikafviklingen på ringvejen samtidig med at busserne på tværs af ringvejen prioriteres.

Der er ikke busbaner i krydsene på Køge Ringvej. Busserne benytter de samme vognbaner som den almindelige trafik, og den aktive prioritering er derfor begrænset til fremskyndelse

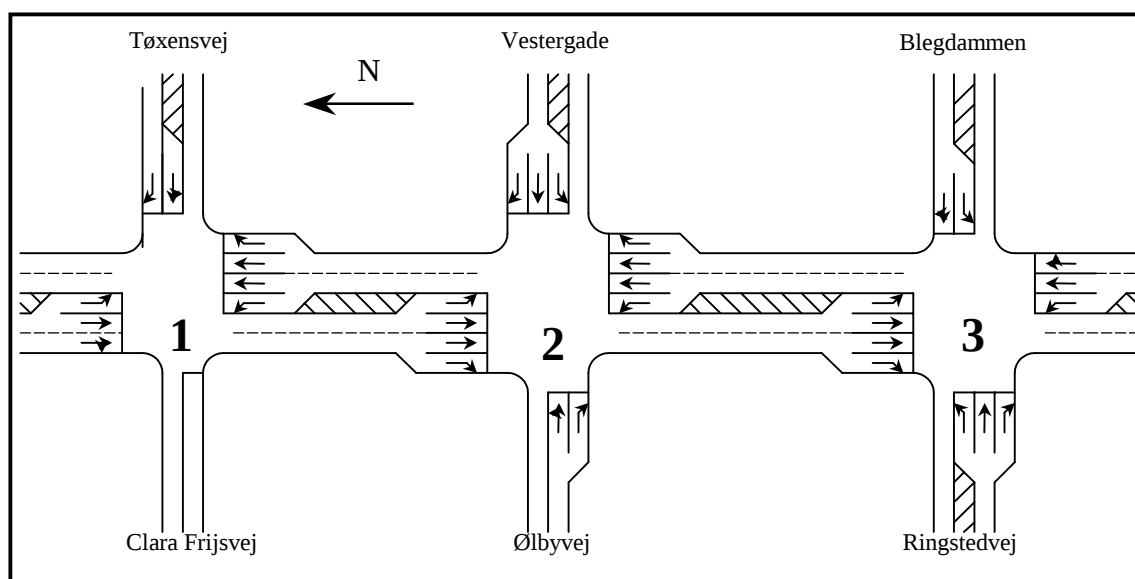
eller forlængelse af de almindelige køretøjssignaler. Busserne detekteres ved, at der er monteret en transponder på busserne, der skal prioriteres. Transponderen sender information om ankomst til styreapparatet via en spole i kørebanen.

På Køge Ringvej er signalanlæggene i følgende 3 vejkryds styret af SPOT:

- Køge Ringvej - Tøxensvej (SPOT-enhed 1)
- Køge Ringvej - Ølbyvej (SPOT-enhed 2)
- Køge Ringvej - Ringstedvej (SPOT-enhed 3)

Krydsene med vognbanefordeling er illustreret på figur 1. Der er cirka 260 meter mellem kryds 1 og 2 og cirka 290 meter mellem kryds 2 og 3.

Trafikken på Ringvejen er primært gennemkørende og er langt større end trafikken fra sideretningerne. Trafikbelastningen på Køge Ringvej ligger på strækningen omkring 15.000-20.000 ÅDT (Årsdøgntrafik). Den mest belastede sideretning er Ringstedvej, der har en trafikmængde i spidstimerne på 1/3 - 1/4 af trafikken på Ringvejen. En stor del af trafikken på Ringstedvej er trafik til og fra Køgebugt Motorvejen.



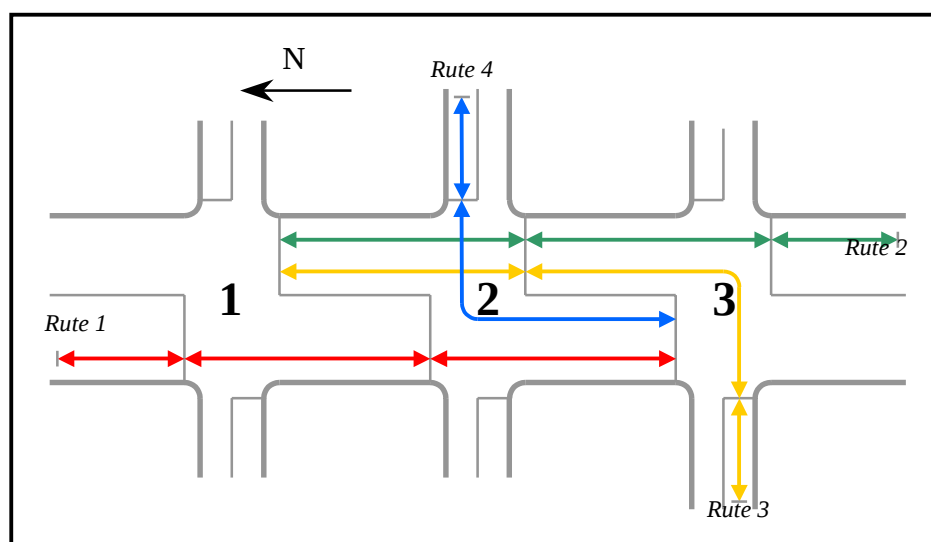
Figur 1: Vejnettet med kryds og sporfordeling

Metode for evaluering

Evalueringen foretages på baggrund af en sammenligning af SPOT med en optimeret tidsstyret samordning udarbejdet med programmet TRANSYT. I analysen af resultaterne er det vigtigt at være opmærksom på, at busserne på tværs af ringvejen får øget prioritet med SPOT. Der er ingen busprioritering i det tidsstyrede signalprogram. I en SPOT installation uden busprioritering ville biltrafikken på ringvejen kunne afvikles bedre.

For sammenligning af de to systemer er rejsetiden på strækningen blevet målt med Vejdirektoratets målebil. Bilen er udstyret med et såkaldt hastighedsprofilometer (HPM). Med dette udstyr er det muligt automatisk at registrere tidspunkt, hastighed og tilbagelagt distance under kørslen.

Rejsetiden blev registreret på 4 forskellige ruter. Disse er vist på figur 2. Rute 1 og 2 er de væsentlige i registreringsoplægget, idet de dækker hovedstrømmen i nord- og sydgående retning. Om morgenen er trafikken størst på rute 2, mens trafikintensiteten bliver mere koncentreret på rute 1 om eftermiddagen. I dagtimerne er trafikken nogenlunde ligeligt fordelt på begge ruter. Rute 3 og 4 er medtaget for at måle konsekvenserne af de ændrede afviklingsforhold for sidevejene. Disse ruter dækker de to vigtigste svingbevægelser fra sideretningerne. I gennemkørslerne er starttidspunktet for hver kørsel varieret, så ankomsten til den første stoplinie ikke sker på samme tid i et omløb hver gang.



Figur 2: Ruteopbygning

Trafikintensiteterne blev registreret på SPOT-spolerne. Ved registrering på disse spoler fås et detaljeret billede af trafikken på alle vognbaner og i alle svingbevægelser. Desværre viste det sig, at registreringerne var meget sårbare for systemfejl. Som backup blev målingerne suppleret med snittællinger på Køge Ringvej nord for Tøxensvej og syd for Ringstedvej. Snittællingerne blev foretaget på separate detektorer under tilsyn af Roskilde Amt. Trafikken blev registreret i kvarters intervaller.

Kapaciteten og afviklingskvaliteten på en strækning med samordnede signalanlæg hænger nøje sammen med valgt omløbstid i styresystemet for signalreguleringen. Registrering af variationer i omløbstider og grøntider ved SPOT-styring sker direkte i SPOT-databasen.

Indsamling af data strakte sig over 2 uger (se tabel 3). Der blev foretaget målinger i en uge med det eksisterende SPOT-system aktiveret, og en uge, hvor en tidsstyret samordning var i

drift. På hver måledag blev der udført rejsetidsmålinger i morgenmyldretiden (6.30-8.30), i dagtimerne (11.00-13.00) og i eftermiddagsmyldretiden (15.00-17.00).

Dag	Tidsstyring	SPOT
Mandag	15. maj	22. maj
Tirsdag	09. maj	23. maj
Onsdag	10. maj	17. maj
Torsdag	11. maj	18. maj

Figur 3: Dage for måling af rejsetider.

På måledagene blev ikke registreret nogle specielle hændelser (vejarbejde, trafikuheld), der havde indflydelse på trafikintensiteten eller trafikafviklingen. Vejret var pænt og ualmindelig solrigt i hele perioden, så vejret havde heller ikke indflydelse på måleresultaterne.

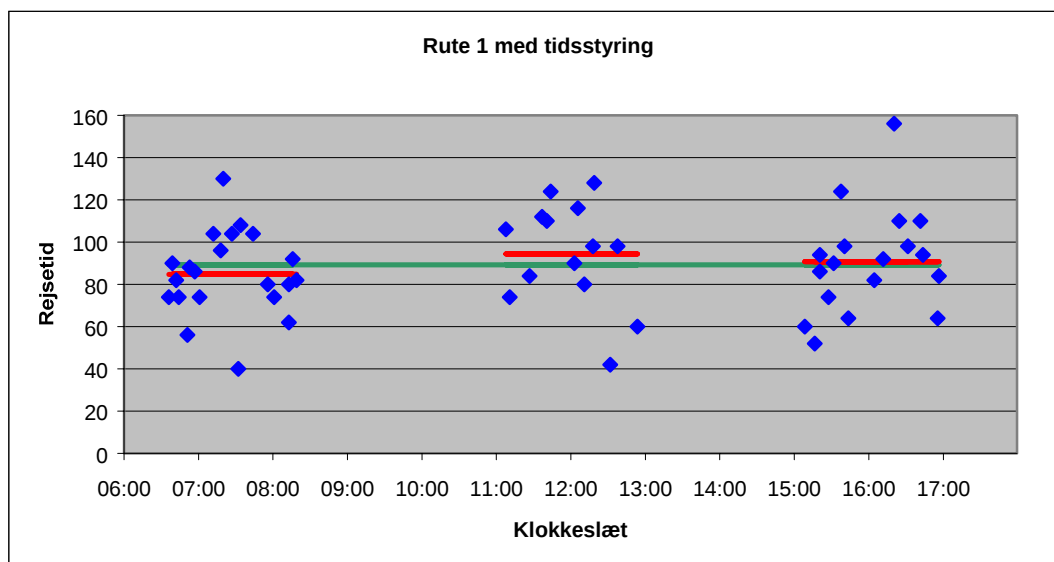
Forhold for kollektivtrafikken er omtalt i en separat rapport udarbejdet for HT (Hansen, K, 1999). I forbindelse med eksamensprojektet er der ikke foretaget yderligere evaluering af afviklingsforholdene for den kollektive trafik i området.

Effekten af SPOT

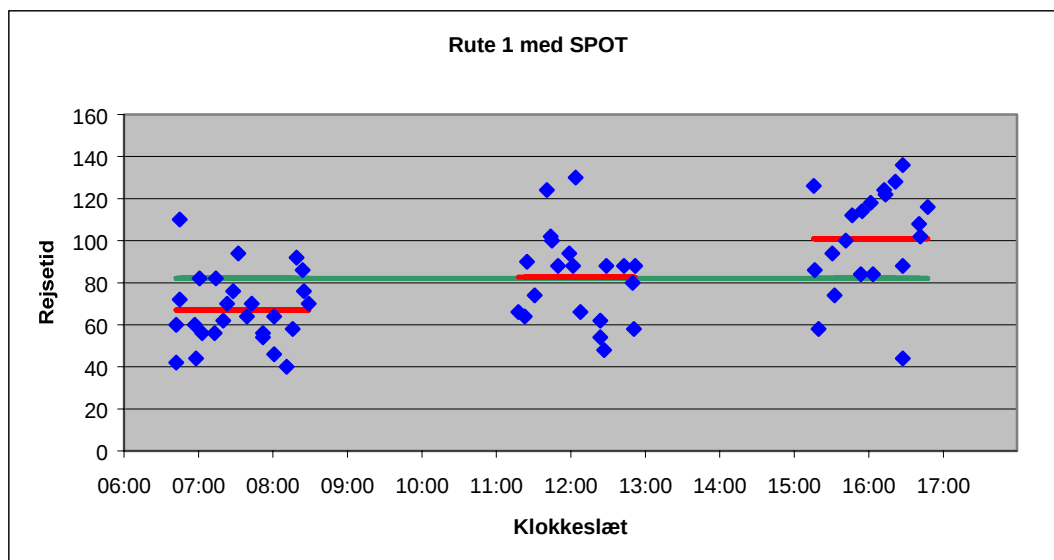
Et eksempel på resultaterne af rejsetidsmålingerne med tidsstyring og SPOT er vist på figur 3 og 4. Rejsetiden på ringvejen mod syd er vist som funktion af måletidspunktet. Det ses, at spredningen på rejsetiderne er nogenlunde ens for de to systemer. Den gennemsnitlige rejsetid om morgenen med tidsstyring er cirka 85 sekunder. Med SPOT bliver denne rejsetid reduceret til 67 sekunder. I dagtimerne er den gennemsnitlige rejsetid med tidsstyring 94 sekunder, og med SPOT bliver denne rejsetid reduceret til 83 sekunder. På ringvejen mod syd er trafikintensiteten størst om eftermiddagen, hvor folk kører hjem fra arbejde. I eftermiddagsmyldretiden giver tidsstyringen en gennemsnitlig rejsetid på 91 sekunder, og her giver SPOT en forøgelse af rejsetiden til 101 sekunder. SPOT reducerer således rejsetiden om morgenen og i dagtimerne for trafikken mod syd, og om eftermiddagen giver tidsstyringen de korteste rejsetider på denne strækning.

Graferne for de øvrige ruter er ikke medtaget i dette paper. Men for trafikken på ringvejen mod nord gælder det, at SPOT giver nogenlunde de samme rejsetider som tidsstyringen om morgenen og i dagtimerne. I eftermiddagsmyldretiden er den gennemsnitlige rejsetid med SPOT 10 sekunder hurtigere end tidsstyringen. For ruterne fra sideretningen er rejsetiderne med tidsstyringen i de fleste tilfælde en del hurtigere end SPOT.

Trafikmængderne indgår ikke af graferne på figur 3 og 4. Det er vigtigt også at tage trafikintensiteten med i sammenligningen af de to systemer, så systemerne sammenlignes under den samme trafikbelastning. Derfor er rejsetiden også optegnet som funktion af trafikintensiteten. Eksempler på disse grafer er vist for trafikken på ringvejen mod nord på

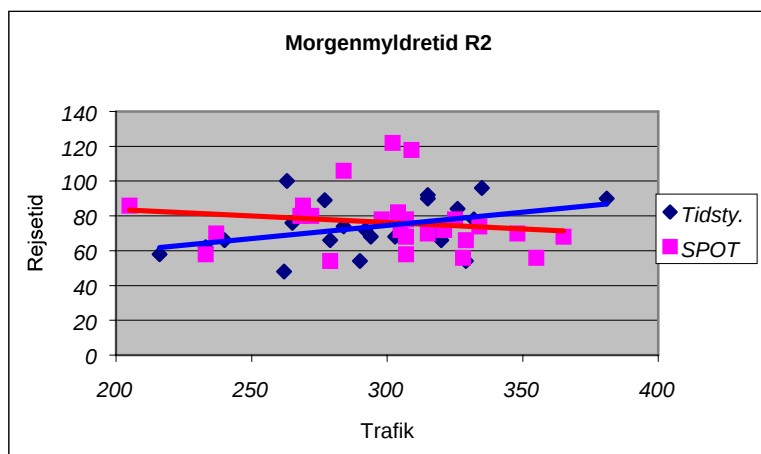


Figur 4: Rejsetiden på ringvejen mod syd (rute1) med tidsstyring som funktion af tiden. De vandrette linier angiver gennemsnitlige rejsetider.

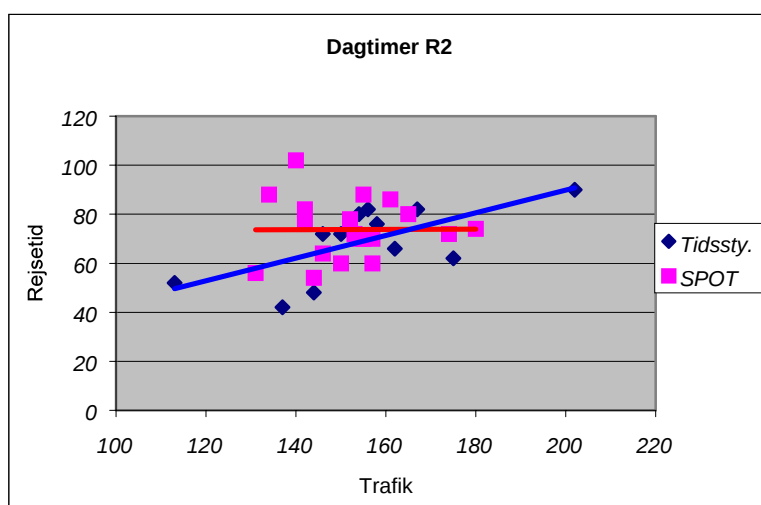


Figur 5: Rejsetiden på ringvejen mod syd (rute1) med SPOT-styring som funktion af tiden. De vandrette linier angiver gennemsnitlige rejsetider.

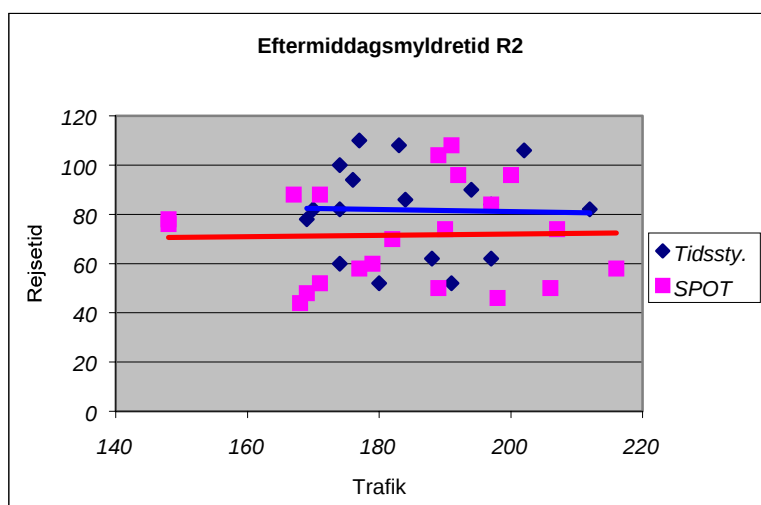
figur 5,6 og 7 for henholdsvis morgenmyldretid, dag og eftermiddagsmyldretid. Der er optegnet regressionslinier på graferne for at se tendensen af målingerne. På ruten mod nord er trafikintensiteten højest om morgenen. For tidsstyringen gælder det, at rejsetiden stiger for stigende trafikintensitet. Dette gælder imidlertid ikke for SPOT. SPOT regulerer trafikken ligeså godt eller bedre ved høje trafikintensiteter. I dagtimerne viser regressionslinierne den samme tendens. Om eftermiddagen er rejsetiden uafhængig af trafikintensiteten. Det skyldes, at det er trafikken i den modsatte retning, der er dimensionsgivende for grøntiden. Den gennemsnitlige rejsetid med SPOT er imidlertid cirka 8 sekunder hurtigere end med tidsstyringen.



Figur 6: Rejsetiden på ringvejen i morgenmyldretiden mod nord (rute 2) med tidsstyring og SPOT som funktion af trafikintensiteten med lineære regressionslinier.



Figur 7: Rejsetiden på ringvejen i dagtimerne mod nord (rute 2) med tidsstyring og SPOT som funktion af trafikintensiteten med lineære regressionslinier.



Figur 8: Rejsetiden på ringvejen i eftermiddagsmyldretiden mod nord (rute 2) med tidsstyring og SPOT som funktion af trafikintensiteten med lineære regressionslinier.

Graferne for de øvrige ruter er ikke medtaget i dette paper, men for trafikken på ringvejen i den modsatte retning ses de samme sammenhænge. Det er specielt iøjnefaldende, at graferne for myldretidsretningen også i den anden retning skærer hinanden ved nogenlunde samme trafikintensitet. SPOT giver også her kortere rejsetider ved højere trafikintensiteter.

Konklusion

I vurderingen af SPOT ud fra ovenstående målinger er det vigtigt at tage højde for, at sammenligningen er mellem SPOT med busprioritering og en optimeret samordning uden busprioritering. Dertil kommer, at SPOT vil kunne afvikle trafikale ændringer i fremtiden uden justeringer, hvor en samordning baseret på tidsstyring bliver forældet. Desuden er der i arbejdet med SPOT fundet nogle forslag til optimering af SPOT, så det vurderes, at SPOT har potentiale til at fungere bedre end i den version, der er blevet brugt som sammenligningsgrundlag i dette projekt.

Evalueringen af SPOT på Køge Ringvej viser, at SPOT fungerer bedst ved høje trafikintensiteter. I myldretiderne giver tidsstyringen gode forhold for retningen med den største trafikintensitet, og SPOT kan under trafikforhold med overskudskapacitet ikke afvikle trafikken i denne retning bedre end tidsstyringen. Med trafikintensiteter tæt på kapacitetsgrænsen afvikler SPOT imidlertid trafikken bedre i myldretidsretningen. En årsag til denne sammenhæng kan være, at SPOT er god til at afvikle trafikken i perioder med køkørsel og høj trafikintensitet, hvor en traditionel tidsstyring forudsætter at bilerne kører med en forudbestemt hastighed igennem signalanlæggene. Trafikken på ringvejen imod myldretidsretningen bliver afviklet bedre med SPOT

Trafikken fra sidevejene har langsommere rejsetider med SPOT end med den optimerede tidsstyring. På trafiknettet ved Køge Ringvej er trafikken ad hovedretningen helt dominerende, så trafikken fra sideretningerne bliver ikke vægtet særlig højt i beregningerne. Ved hjælp af mulighederne for busprioritering i SPOT kan det imidlertid lade sig gøre at reducere rejsetiderne for busser fra sidevejene i forhold til den optimerede tidsstyring (Hansen, K., 1999)

I fremtidige installationer af SPOT i Danmark er det vigtigt, at gøre sig klart at SPOT er mest effektiv i trafiknet med kapacitetsproblemer eller store udsving i trafikintensiteterne. Derudover er SPOT oprindeligt udviklet til at prioritere den kollektive trafik, så den kollektive trafik vil kunne få glæde af flere installationer af SPOT i Danmark i fremtiden.

Litteratur

- Hansen, Kurt; Etablering af SPOT på Køge Ringvej, HT, VT, Roskilde Amt, Peek Traffic og KH-Trafikteknik, 1999
- UTC - UTOPIA Urban Traffic Control, Technical Reference Manual 1996, Mizar Automazione
- Ørjan Mørner Tveit, Bruk av adaptiv trafikksignalregulering i byområder, 1999, NTNU