

# Samfundsmæssig nytte af bedre trafiksignaler

af civiling. Steen Merlach Lauritzen  
Kompetencecenter Trafikledelse  
Vejdirektoratet  
email: ste@vd.dk

*I de senere år har Vejdirektoratet haft fokus på betydningen af, at vore trafiksignaler er vel-trimmede i forhold til de krav som trafikken stiller med hensyn til god fremkommelighed. God fremkommelighed betyder mindre forsinkelse, færre stop, højere rejsehastighed og sidst men ikke mindst reduceret brændstofforbrug og mindre udslip af skadelige stoffer.*

*Vejdirektoratet har gennemført en undersøgelse, der omfatter dels et litteraturstudium, dels en række simuleringer af fritliggende og samordnede signalanlæg. På baggrund af en spørge-skemaundersøgelse blandt danske vejforvaltninger, hvor omfanget af forskellige typer af signalanlæg er klarlagt, er det samlede potentiale for forbedringer mht. forsinkelse og brændstofforbrug søgt opgjort.*

## Indledning

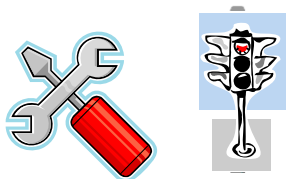
Trafiksignaler er krumtappen i byernes trafikafvikling. Uden signalanlæg ville trafikken simpelthen bryde sammen med uoverskuelige konsekvenser for trafikafviklingen og trafiksikkerheden. Tilstedeværelsen af trafiksignaler vil dog altid generere en række ulemper for trafikanterne i form af ventetid og stop og heraf øget energiforbrug i forbindelse med start og acceleration efter stop for rødt lys.

Det er derfor nødvendigt, at vejbestyrelserne til stadighed sikrer, at signalanlæggene fungerer hensigtsmæssigt, så de gener, der uundgåeligt er forbundet med signalanlæg, kan holdes på så lavt et niveau som overhovedet muligt. Internationalt findes mange undersøgelser om betydningen af dårligt indstillede signalanlæg. I en amerikansk undersøgelse fra 2005 (gentaget 2007) anslås det, at 5-10 % af al forsinkelse på amerikanske veje skyldes dårligt indstillede signalanlæg (NTOC, 2007). En svensk rapport (Kronborg, 2008) viser i projektet MATSIS (Minskede CO<sub>2</sub>-udslæp genom Adaptiva TrafikSignaler I Stockholm), at investering i forbedring af signalanlæg er én af de mest lønsomme investeringer, når formålet med investeringen er at reducere CO<sub>2</sub>-udslippet. Samtidig vil dette reducere trængslen og forbedre fremkommeligheden.

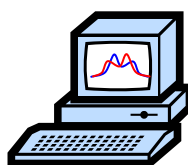
Vejdirektoratet igangsatte derfor i 2007 et projekt (Projekt ”Bedre trafiksignaler”) for at undersøge problemets omfang og for at analysere potentialet for reduktion af de negative effekter, som signalanlæg altid vil give anledning til.

## Former for drift af signalanlæg

Indledningsvis skal redegøres for de to former for drift, som er knyttet til trafikledelsessystemer herunder signalanlæg. De to former benævnes hhv. *systemteknisk* og *trafikteknisk drift*.



*Systemteknisk drift*



*Trafikteknisk drift*

**Systemteknisk drift** omfatter teknisk drift og forebyggende vedligehold, herunder særligt vedligehold af komponenter, kommunikationslinier samt hardware og software, mens **trafikteknisk drift** defineres som optimering ved konfiguration, parameterændringer og tilretning af algoritmer på baggrund af analyser og vurderinger af trafikale forhold. Løst sagt kan man sige, at til systemteknisk drift benyttes en skruetrækker, mens den trafikale drift benytter værktøjer som kapacitets- og optimeringsmodeller baseret på trafiktællinger.

Den systemtekniske drift skal primært sikre, at der overhovedet er lys i signalerne og at signalanlægget fungerer som specificeret. Dette omfatter både forebyggende og afhjælpende vedligehold af styreapparat, signallanterner og detektorer.

Den trafiktekniske drift skal sikre, at et anlæg hele tiden er i stand til at afvikle trafikken hensigtsmæssigt, dvs. signalparametre som omløbstider, grøntider, minimum- og maksimumgrøntider, forlængelsestider samt programskiftetidspunkter er hensigtsmæssige ud fra fordelingen af trafikstrømmene i krydset på forskellige tidspunkter af dagen og ugen. For samordnede signalanlæg er det endvidere af betydning, at tidsforskellen mellem skift til grønt lys i hovedretningen i nabosignalanlæg sikrer en glidende trafikafvikling på strækningen.

Ændrede trafikmønstre og trafikmængder bør derfor altid give anledning til overvejelser om en trafikteknisk driftsindsats.

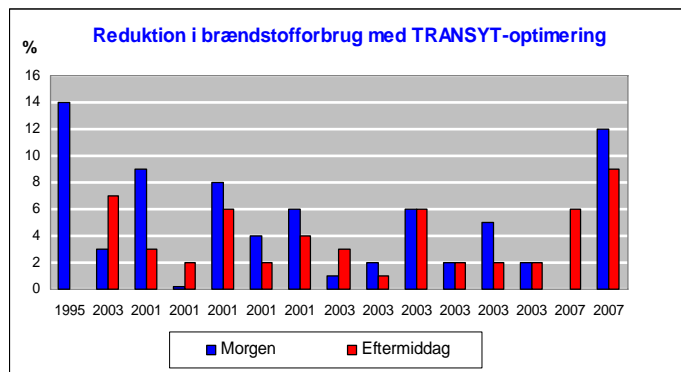
## Litteraturstudium

Som indledning til projektet har COWI gennemført et litteraturstudium vedr. optimering af signalanlæg (COWI, 2006). Studiet omfatter ca. 70 artikler fra ind- og udland med fokus på signalstyringens effekt på fremkommelighed, dvs. antal stop, forsinkelse og rejsehastighed. Endvidere er ændringer i energiforbrug og emission vurderet. Et særligt omfattende program har været det californiske program, FETSIM (Fuel-Efficient Traffic Signal Management, se Skarbadonis, 1994). I en 10-års periode fra 1983 til 1993 blev der bevilget \$16 mio. til optimering af 12.000 signalanlæg i Californien. Formålet var, som projekttitlen antyder, begrænsning af energiforbruget og dermed også af emissionen. Ca. halvdelen af de i alt 134 projekter omhandlede forbedringer af signalsamordninger. Her var effekterne på fremkommeligheden en reduktion i rejsetiden på 8 % og en reduktion i forsinkelsen og antal stop på 17 %. En del projekter omfattede etablering af samordninger. Her var der en reduktion i rejsetiden på 11% og en reduktion i forsinkelse og antal stop på ca. 25 %.

Samlet set udviste de 134 projekter et benefit/cost forhold på 17:1 det første år. Dvs. investeringen set ud fra en samfundsmæssig betragtning blev betalt tilbage 17 gange allerede det første år.

For signalsamordningers vedkommende benyttes ofte optimeringsværkøjer som f.eks. det engelske TRANSYT. Ud fra data om trafikmængder, krydsafstande, signalprogrammernes opbygning samt visse andre parametre kan programmet optimere en tidsstyret signalsamordning med henblik på minimering af en kombination af antallet af stop og forsinkelsen på en strækning eller i et net.

TRANSYT-programmet anvendes også i Danmark. På figur 1 er vist de modelberegnedre reduktioner i brændstofforbruget, der har været opnået i en række danske projekter fra 1995 til 2007.



Figur 1. Effekterne på brændstofforbruget ved 15 danske projekter fra 1995 til 2007.

Projekterne kan ikke direkte sammenlignes med hinanden, da vejnettets geometri og kvaliteten af den gældende signalindstilling er meget afgørende for hvor store effekter, der kan opnås. Som udgangspunkt ses, at der ifølge TRANSYT-modellen typisk kan opnås brændstofbesparelser på 2-5 %. Da dette omfatter alle strækninger i nettet inkl. de yderste signaltilfarter, hvor signalsamordning ikke har nogen effekt, vil effekten for den gennemkørende trafik på en strækning være større.

Når man ser på den reduktion i forsinkelse og stop, det er muligt at opnå ved optimering af samordnede signalanlæg, viser erfaringen fra ind- og udland, at den mulige reduktion i bilsternes forsinkelse normalt er i intervallet 5-20 %.

I litteraturen bliver det ofte fremhævet, hvor stor betydningen af godt vedligeholdte signalanlæg er for den trafikale kvalitet, som et signalanlæg kan tilbyde. Daglig overvågning og drift er blandt andet vigtig for at sikre, at defekte spoler repareres hurtigt, så generne for trafikafviklingen minimeres. I Sverige er det ved simulering beregnet, at en defekt spole i et udvalgt, stærkt trafikeret signalanlæg i Stockholm forøger den gennemsnitlige forsinkelse med 35 % (Vägverket, 2003).

I en nyere svensk undersøgelse (Alf et al, 2008) er det vurderet, at defekte detektorer årligt koster de svenske trafikanter i alt 2,33 mia. SEK pr. år. Heraf udgør brændstofomkostningerne 140 mio. SEK.

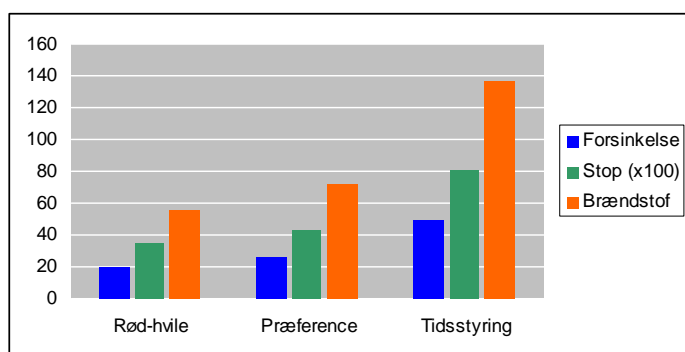
## Simulering af signalanlæg

På baggrund af litteraturstudiet og de positive effekter forskellige tiltag ville kunne forventes at tilvejebringe blev det besluttet at gennemføre simuleringer med VISSIM af et fritliggende, trafikstyret kryds samt nogle strækninger med samordnede signalanlæg.

Som modelkryds blev valgt et fuldt trafikstyret signalanlæg med en hverdagsdøgntrafik i hovedretningen og sideretningen på hhv. 12.000 og 3.000. Følgende strategier blev udvalgt til simulering:

- Tidsstyring (faste grøntider)
- Trafikstyring (variable grøntider), hviletilstand: præference
- Trafikstyring (variable grøntider), hviletilstand: rød-hvile
- Detektorfejl i hovedretningen
- Detektorfejl i sideretningen
- Detektorfejl i både hovedretning og sideretning

Ifølge vejregler for signalanlæg fra 2006 må der ikke ved nyanlæg etableres fritliggende anlæg med tidsstyring. Nye anlæg, der ikke er samordnede, skal være trafikstyrede. Begrundelsen for at udvælge disse forhold til simulering er, at der stadig er mange tidsstyrede anlæg. Effekten af at ombygge disse til trafikstyring vil derfor kunne vurderes.

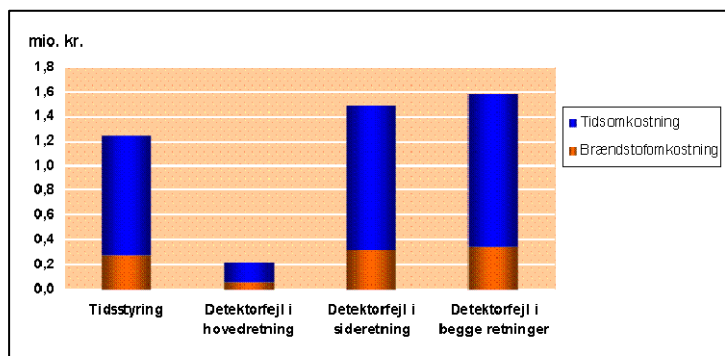


*Figur 2. Opgørelse af forsinkelse, stop og brændstofforbrug i et signalanlæg med hhv. rød-hvile, præference og tidsstyring. Diagrammet viser pr. hverdag følgende:  
Forsinkelse i ktj.-timer  
Antal 100 stop  
Brændstof i liter*

Det ses af figur 2, at med de givne trafikale forudsætninger, er tidsstyring en væsentligt ringere strategi end trafikstyring, uanset om hvilestillingen i trafikstyringen er rød-hvile eller præference (grønt i hovedretningen). Den bedste strategi set ud fra et afviklingsmæssigt synspunkt er i denne situation trafikstyring med rød-hvile.

Akilleshælen ved trafikstyring er, at én eller flere detektorer kan være ude af funktion. Herved reduceres kvaliteten af trafikafviklingen, da anlægget i denne tilstand er delvis "blind" i forhold til registrering af trafikken i tilfarterne. I denne situation er det normalt at indstille detektoren til fast anmeldelse og forlængelse. Det betyder at signalanlægget reagerer, som om der til stadighed kommer biler fra den pågældende retning med krav om grønt lys eller grøntidsforlængelse. Effekten af forskellige former for defekter er på denne baggrund inddraget i simuleringerne. Resultaterne af simuleringerne er sammenlignet med kvaliteten af et anlæg med rød-hvile som styrestrategi. Resultaterne er illustreret i figur 3.

Som en følge af den degraderede styring i tilfælde af detektorfejl har Vejdirektoratet i 2009 omstillet detektorfunktionen i trafikstyrede signalanlæg, således at den nu foregår mere intelligent i de situationer, hvor der er registreret en detektorfejl. For hver detektor er der taget stilling til, om den i tilfælde af en fejlmelding skal enten give fast anmeldelse, give fast forlængelse, gøre begge dele eller helt udgå af styringen.



Figur 3. Opgørelse af årlige ekstraomkostninger for forskellige styrestrategier sammenlignet med et velfungerende, trafikstyret anlæg med rød-hvile.

Som det fremgår af figur 3 udgør ekstraomkostningerne ved tidsstyring og ved detektorfejl i sideretningen mellem 1,2 og 1,6 mio. kr. årligt eller op mod 5.000 kr. dag. Der synes derfor at være et stort potentiale for forbedringer af fritliggende anlæg, dels ved at udstyre de ikke-trafikstyrede anlæg med passende trafikstyring, dels ved at sikre en kort reparationstid for fejlramte detektorer.

I projektforsøget er der gennemført simulering af to strækninger med samordnede signalanlæg. Den ene strækning er simuleret med dagprogrammet indkoblet (Silkeborg Ringvej), mens den anden strækning, en indfaldsvej til København (Folehaven-Ellebjergvej), er simuleret både for en morgenspidstid og en dagtime. Denne strækning består af i alt 11 signalanlæg, hvoraf to er fritliggende fodgængerfelter.

En signalsamordning er fastlagt ved en fælles omløbstid, grøntiderne i de enkelte signalanlæg og grøntidsforskydninger, der angiver tidsforskellen mellem start af grønt lys i to nabosignalanlæg. Med optimeringsprogrammet TRANSYT er grøntidsforskydningerne optimeret for hvert af de tre signalprogrammer. Grøntiderne i de enkelte kryds er bevaret.

For ringvejen omkring Silkeborg er der gennemført en optimering med TRANSYT af det 70 sek. signalprogram, der er gældende i eftermiddagsmyldretiden. De ”optimale” signaltider er herefter simuleret med programmet VISSIM. Effekten viser sig at være relativ lille, idet der med simuleringerne kun kan eftervises en reduktion i forsinkelsen og brændstofforbruget på hhv. 3 % og 1 %.

For strækningen i København er der en større effekt. For morgenmyldretiden viser simuleringerne, at der kan opnås en reduktion i forsinkelse og stop på mere end 25 %, hvilket resulterer i en brændstofbesparelse på 3 %. Effekten i dagprogrammet er mindre, idet der her kan opnås en reduktion i forsinkelse og stop på 8-10 %, hvilket resulterer i en samlet brændstofbesparelse på 1 %.

I en mere detaljeret undersøgelse af forholdene på den pågældende strækning (Tønnesen og Hedelund, 2009) er det eftervist både med simulering og GPS-data, at der er en stor gevinst at hente ved en optimering. På figur 4 er vist resultaterne baseret på GPS-data før og efter justering af samordningen. Resultaterne omfatter både de to myldretider og dagtimerne.

Rejsetid (sek.)	Morgen			Dag			Efter middag		
	Eksist.	Optimeret	Ændring	Eksist.	Optimeret	Ændring	Eksist.	Optimeret	Ændring
Mod centrum	439	441	0%	311	292	-6%	351	303	-14%
Fra centrum	374	319	-15%	304	264	-13%	316	301	-5%

Figur 4. Resultater for optimering af en strækning med 11 samordnede signalanlæg i København, hvor forskydningerne er optimeret. Data er baseret på GPS-målinger. Kilde: Tønnesen og Hedelund. 2009.

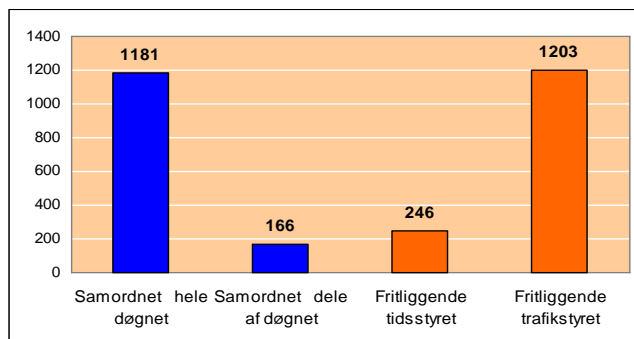
For hele nettet kan antal stop og forsinkelse reduceres med ca. 25 %. Erfaringsmæssigt svarer dette til en reduktion i rejsetiden på ca. det halve, som det fremgår af figur 4.

En ændring af samordningen vil ikke medføre nogen ændring for fodgængere. De har den samme grøntid. For cyklister vil det nogle gange blive bedre, andre gange vil det blive værre. Samlet set vurderes det, at det ikke vil medføre større ændringer for cyklister. I gadenet med tætliggende anlæg og med mange cyklister bør der dog tages særlige hensyn til cyklisterne.

## Spørgeskemaundersøgelse

For at få et nationalt overblik over antallet af signalanlæg og typer af styring i disse er der gennemført en spørgeskemaundersøgelse blandt danske kommuner og internt i Vejdirektoratet. Undersøgelsen viser, at der i Danmark er ca. 2800 signalanlæg. Fordelingen på de enkelte styreformater er vist på figur 5. Knap halvdelen af anlæggene (1366) er samordnet med andre anlæg i det mindste i myldretiderne. Resten (1434) er fritliggende anlæg, der styres uafhængigt af naboanlæggene. Det er overraskende, at så mange som 234 signalanlæg (9 %) kører tidsstyret uden samordning med andre anlæg.

Undersøgelsen afdækkede også, at ca. hvert 3. anlæg er uden elektronisk fjernovervågning. Dvs. detektorfejl forbliver uopdaget indtil der foretages et hovedeftersyn af signalanlægget, eller indtil en trafikant klager over, at anlægget opfører sig underligt.

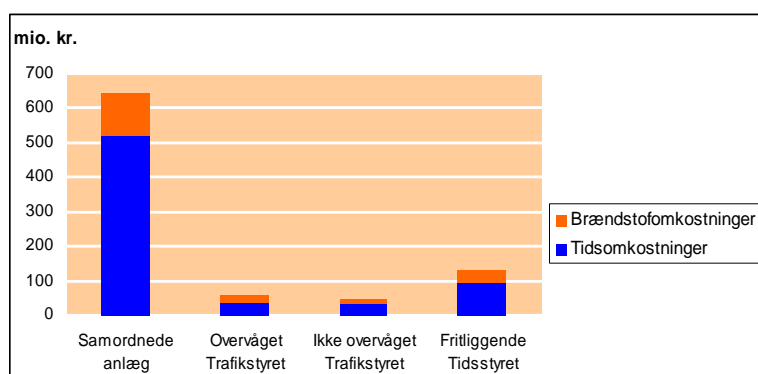


Figur 5. Fordeling af Danmarks 2800 signalanlæg på styreform.

## Samlet opgørelse af forbedringspotentialer

Ud fra opgørelsen over fordelingen af signalanlæg i Danmark er det forsøgt at give et overblik over det forbedringspotentialer, der er i danske signalanlæg med hensyn til forbedret fremkommelighed og brændstofforbrug. Opgørelsen er baseret på, at samordnede signaler optimeres, at detektorer i trafikstyrede kryds under overvågning repareres hurtigere, at ikke overvågede kryds bringes under overvågning og at fritliggende, tidsstyrede anlæg ombygges til fuld trafikstyring.

Opgørelsen er endvidere baseret på erfaringerne fra de gennemførte simuleringer samt erfaringsmateriale vedr. forbedringsmulighederne i samordnede signalanlæg. Endvidere er der ud fra det indsamlede erfaringsmateriale vedr. andelen af fejlramte detektorer foretaget et skøn over, hvor meget fejlprocenten vil kunne reduceres, hvis alle signalanlæg var overvåget, samt hvis der var en kortere reparationstid af fejlramte detektorer. Opgørelsen over forbedringspotentialer er vist på figur 6, hvor den mulige besparelse er vist for hhv. tidsomkostninger (ventetidsbesparelser) samt brændstofbesparelser.



Figur 6. Samlet årlig besparelsepotentiale for danske signalanlæg fordelt på anlægstype.

Alt i alt udgør det årlige potentiale for besparelser mindst 19 mio. liter brændstof og 9 mio. køretøjstimer, hvilket samlet giver en mulig besparelse på knap 900 mio. kr. årligt. Brændstofbesparelsen udgør minimum 0,3 % af det nationale energiforbrug i transportsektoren. Skønnet er meget konservativt, og mere detaljerede analyser vil sandsynligvis kunne afsløre et større potentiale.

Især synes der at være et stort uudnyttet potentiale i forbedringer af signalsamordninger. Fordelene for trafikanterne skønnes at være mindst 900 mio. kr. årligt mod omkostninger til optimering og implementering på bare kr. 30.000 pr. signalanlæg eller ca. 40 mio. kr. i alt for alle landets samordnede signalanlæg. En samfundsøkonomisk opgørelse viser dermed et benefit/cost-forhold på mere end 20:1, dvs. investeringen er tjent hjem 20 gange det første år.



## Sammenfatning

Opgørelsen viser, at mere fokus på både systemteknisk og trafikteknisk drift vil kunne give betydelige besparelser i trafikanternes spildtid og deres benzinformbrug. Et groft skøn viser, at besparelsen kan være op til 900 mio. kr., hvoraf ca. en femtedel er brændstofbesparelser, mens resten er værdien af trafikanternes tidsbesparelse. Eventuelle miljø- og sikkerhedsmæssige forbedringer er ikke indregnet, men vurderes at være beskedne.

## Referencer:

Alf, Johnny et al., 2008

Bättre signalfunktion vid detektorfel och tryckknappfel, Publikation 2008:19, Vägverket 2008.

Binning J.C., Crabtree M. and Burtenshaw, G., 2003

TRANSYT 12 User Guide. TRL Application Guide, AG 48 (Issue B). TRL, Crowthorne House, Wokingham, UK

COWI, 2006

Bedre Trafiksignaler i Danmark - Litteraturstudium. Internt arbejdsnotat, 3. marts 2006.

Kronborg, Peter, 2008

MATSIS – Minskade CO2-utsläpp genom Adaptiva TrafikSignaler I Stockholm. Movea

NTOC, 2007

National Transportation Operations Coalition. National Traffic Signal Report Card – Executive Summary, 2007

PTV, 2003

Vissim User Manual - V.3.70. Karlsruhe

Skabardonis, Alexander, 1994

Evaluation of The Fuel-Efficient Traffic Signal Management (FETSIM) Program: 1983-1993. Research Report UCB\_ITS-RR94-11. Institute of Transportation Studies, University of California

Tønnesen, Jakob og Hedelund, Morten, 2009

Optimering af signalanlæg i København, Afgangprojekt, DTU Transport, 2009

Vägverket, 2000

Sverige behöver bättre Trafiksignaler. Publikation 2000:28

Vägverket, 2003

ITS Effektsamband. Uppdatering av Effektsamband 2000 med avseende på ITS. Publikation: 2003:193