

KONSEKVENSER FOR TRAFIKANTER OG SAMFUND

BEDRE TRAFIKSIGNALER

RAPPORT 411



Konsekvenser for trafikanter og samfund
BEDRE TRAFIKSIGNALER

Rapport 411 - 2012

DATO:

April 2012

LAYOUT:

Vejdirektoratet / MONTAGEbureauet ApS

OPLAG:

300

UDGIVER:

Vejdirektoratet

ISBN (NET):

9788770606714

ISBN:

9788770606721

COPYRIGHT:

Vejdirektoratet, 2012

Yderligere information om vejene og trafikken kan findes på nettet på Vejdirektoratet.dk.

Denne og andre publikationer kan bestilles hos Schultz Distribution
distribution@rosendahls-schultzgrafisk.dk eller på telefon 4322 7300

INDHOLD

Sammenfatning.....	4
1. Indledning.....	6
2. Introduktion til signalanlæg.....	9
2.1 Styreformer	9
2.2 Samordnede signalanlæg – grønne bølger	10
2.3 Brændstofforbrug og emission ved stop	10
2.4 Fejloverbågning af signalanlæg	12
3. Optimering af signalanlæg	14
3.1 Systemteknisk og trafikteknisk drift.....	14
3.2 Signalsoptimering - hvad er det?.....	14
3.3 Hvorfor optimere signalanlæg?.....	15
4. Signalanlæg i Danmark	16
4.1 Spørgeskemaundersøgelse.....	16
4.2 Årlige samfundsøkonomiske omkostninger i danske signalanlæg.....	17
5. Litteraturstudium	20
6. Simulering af signalstyring.....	22
6.1 Uafhængigt styret signalanlæg	22
6.2 Signalreguleret ruderalnæg	26
6.3 Samordnede signalanlæg	29
6.4 Sammenfatning af simuleringer	36
7. Potentiale for forbedringer	37
8. Hvad kan vejbestyrelsen gøre?.....	39
8.1. Vejbestyrelsens opgave.....	39
8.2. Systemteknisk drift.....	39
8.3. Trafikteknisk drift.....	40
8.4. Ombygning af ældre tidsstyrede anlæg	43
8.5. Signalstrategi	43
8.6. Signalsoptimering i praksis.....	43
9. Referencer	44
10. Bilag	46
Bilag 1: Resultater fra spørgeskemaundersøgelsen.....	48
Bilag 2: Samfundsøkonomisk kalkule af årlige omkostninger i signalanlæg	51
Bilag 3: TERESA - Samfundsøkonomisk model for signalanlæg	54

SAMMENFATNING

Danmarks 2.800 trafiksignaler påvirker os alle. Uanset om vi selv sidder bag rattet eller er passager, om vi kører i arbejdssammenhæng eller som privatperson, om vi kører i bus, personbil, på cykel eller er fodgænger skal vi standse, når trafiksignalet viser rødt.

Signalanlæg er en nødvendighed for at sikre trafikanterne en rimelig fremkommelighed og en høj sikkerhed. Rødt lys påvirker trafikafviklingen ved at bringe trafikken til standsning. Derved bliver bilister ikke alene påtvunget en vis ventetid men også en direkte udgift til ekstra brændstof, så længe der holdes for rødt lys, og når køretøjet igen skal bringes op på en normal hastighed. En personbil, der med 50 km/t skal standse og holde stille for rødt lys i 30 sek. og efterfølgende accelererer til 50 km/t, bruger ca. 0,023 liter brændstof ekstra. Dette svarer til en ekstra udgift på ca. 24 øre ved en brændstofpris på 10,43 kr. pr. liter (2010). På veje med højere hastigheder er udgiften større. For lastbiler er ekstraomkostningen langt større, da de har en højere totalvægt end personbiler. En 40 ton lastbil bruger således op mod 0,5 liter diesel ekstra ved at standse og accelerere op til en udgangshastighed på 70 km/t i forhold til uhindret kørsel med konstant hastighed.

Disse cifre lyder måske ikke af meget. Men når man sammenholder det med, at der hvert år standses 8-9 mia. gange for rødt lys ved vore signalanlæg, er der tale om en betydelig omkostning for det danske samfund og for den enkelte trafikant. Med et forsigtigt skøn vurderes de samlede årlige samfundsomkostninger i danske signalanlæg at være i størrelsesordenen 14 mia. kr. Langt den største del af dette beløb udgøres af værdien af trafikanternes spildtid (69%). De øvrige omkostninger er brændstof (13%), trafikulykker (18%) og drift og vedligehold af signalanlæggene (0,5%).

Omkostningen til brændstof skønnes alene at udgøre ca. 13 % svarende til et merforbrug på 1,8 mia. kr. i forhold til en situation, hvor trafikanterne kører igennem uden at standse. For den enkelte trafikant svarer det til et merforbrug på ca. 700 kr. pr. år. Tallene er et udtryk for, at selv små forbedringer i signalstyringen har en økonomisk betydning for både trafikanterne og for samfundet.

Merforbruget af brændstof på grund af stop for rødt lys medvirker også til merudledning af drivhusgassen CO₂ samt forurenende stoffer som kulilte og kvælstofoxider. Effekten af dette er ikke opgjort.

Signalanlæg kan være samordnet med andre, hvorved signalerne på en strækning under visse forhold kan styres på en sådan måde, at der kan skabes en grøn bølge for de bilister, der kører på strækningen. Knap halvdelen af de danske signalanlæg er samordnede i det mindste i myldretiderne. Øvrige signalanlæg styres uafhængigt af andre signalanlæg.

Når der er mulighed for at skabe en grøn bølge langs en strækning, vil trafikanterne opleve øget komfort, jævne hastighed, kortere rejsetid og et mindre brændstofforbrug, da der ikke skal standses og igangsættes ved signalanlæggene.

For forholdsvis begrænsede midler kan trafikafviklingen forbedres på samordnede strækninger. Det er vurderingen, at mange signalsamordninger i Danmark ikke fungerer optimalt. Ofte vil man, blot ved at flytte grønperiodens start i et eller flere signalanlæg, opnå en større reduktion i antallet af køretøjer, som skal standse. Herved får trafikanterne en kortere rejsetid, en mere jævn hastighed og et mindre energiforbrug. Herudover reduceres forureningen og støjbelastningen omkring krydset. Som gennemsnit vurderes det ud fra omfattende studier af erfaringer fra ind- og udland, at den samlede forsinkelse i samordnede signalanlæg vil kunne reduceres med 5-10 %, hvis de var bedre indstillede.

Langt de fleste af de ikke samordnede anlæg er trafikstyrede med detektorer, således at grøntiderne hele tiden kan tilpasses det aktuelle behov. Imidlertid er der 8 % af alle anlæg, som hverken er samordnet med andre anlæg eller er trafikstyrede. Disse anlæg er utidssvarende, og de medfører en væsentligt højere gennemsnitlig ventetid og flere stop end et tilsvarende trafikstyret signalanlæg. Ombygning af disse gamle anlæg skønnes at kunne give en årlig besparelse på 3,2 mio. liter brændstof.

Grøntiderne i signalanlæg samt øvrige parametre til styring af anlæggene er indrettet til bestemte trafikmængder og bestemte trafikmønstre. Ideelt set skal et signalanlæg være indstillet til at afvikle den aktuelle trafik med så få gener som muligt for trafikanterne.

Mange af vore trafikstyrede signalanlæg fungerer i dagligdagen ikke som tilsigtet ved projekteringen. Det kan der være flere årsager til:

- Trafikmængderne eller trafikmønstret har ændret sig siden grøntiderne i signalanlægget blev dimensioneret. Trafikken i signalanlægget afvikles derfor ikke længere optimalt
- En eller flere detektorer til registrering af den ankomende trafik virker ikke
- Signalanlægget har en funktionsfejl, så grøntider eller samordningsmønster afviger fra det ønskede.

Hvis signalanlægget er dimensioneret til at betjene trafikmængder, der adskiller sig væsentligt fra de aktuelt forekommende, vil dette medføre øget ventetid for trafikanterne. Med en optimering, hvor signalanlæggets styring justeres, så den svarer til den nye trafiksituation, kan ventetiderne og trafikantomkostningerne nedbringes.

Det vurderes, at der er detektorfejl i 15-20 % af alle trafikstyrede signalanlæg i Danmark. Simuleringer viser, at i et trafikstyret kryds med en hverdagsdøgntrafik på 15.000 kan en defekt detektor i sideretningen medføre ekstra trafikantgener på op til 6.700 kr. pr. dag inklusiv værdien af tidstab. Alene værdien af det ekstra brændstofforbrug kan løbe op i knap 1.000 kr. pr. dag i et kryds med typiske trafikmængder. For store trafikstyrede kryds vil de negative effekter af en detektorfejl være endnu større.

Undertiden opstår tekniske fejl i et signalanlæg. F.eks. kan signalanlæggets ur drive bort fra den virkelige tid, hvilket kan medføre, at signalanlægget på et givet tidspunkt arbejder med grøntider, der er tilpasset et andet tidspunkt

på døgnet. Dette kan f.eks. medføre at grøntiderne bliver for korte, eller at samordningsmønstret i samordnede signalanlæg bliver uheldigt.

Optimering af signalanlæg indebærer justering af signalernes funktion, så trafikanterne får færre gener, dvs. færre stop og en mindre forsinkelse. Justeringerne kan f.eks. bestå i ændrede grøntider, nye pilfaser, ændret tidspunkt for skift mellem signalprogrammer eller ændringer i den måde en signalsamordning fungerer på. I særlige tilfælde kan en optimering også omfatte anlæg af eller forlængelse af svingbaner.

En samlet opgørelse viser, at øget fokus på signalanlæggs funktion kan spare det danske samfund for op mod 1,3 mia. kr. pr. år, hvoraf brændstofbesparelserne udgør 16,6 mio. liter svarende til en omkostning på 174 mio. kr. Fokus bør især rettes mod optimering af samordnede signalanlæg, idet der her skønnes at være et potentiale på 933 mio. kr., heraf 103 mio. alene i brændstofbesparelser. Besparelsen kan opnås gennem en optimering af de eksisterende signalsamordninger. Den nødvendige årlige investering til optimering af samordnede signalanlæg udgør ca. 10 mio. kr., hvis samordninger optimeres hvert 4. år.

Kortere reparationstid for defekte detektorer vurderes at kunne give en samlet besparelse for trafikanterne på ca. 185 mio. kr. årligt, heraf 37 mio. kr. i brændstof.

Bedre trafiksignaler med fuldt funktionsduelige detektorer forventes desuden at højne trafikikkerheden. Den trafikikkerhedsmæssige effekt er dog ikke vurderet her.



1. INDLEDNING

Trafiksignaler udfylder en vigtig funktion i dagens tætte og intensive trafikmiljø. Anlæggene fungerer ikke alene som et stopsignal men også som en kapacitetsfordeler for alle de trafikanter, som skal passere et vejkryds.

Trafiksignaler har derfor betydning i hverdagen for alle, som færdes på eller langs gade og vej. Dette gælder for personer på vej til eller fra arbejde, personer i erhverv, som benytter personbil, varebil eller lastbil eller personer på vej til eller fra indkøb eller fritidsbeskæftigelse. Uanset om man kører i bil, på cykel eller knallert eller er fodgænger, så påvirkes ens trafikrytme af signalernes skift mellem rødt og grønt. Også transporttiden for bus- og hyrevognspassagerer samt handicappede og ældre, der lader sig transportere, er påvirket af stop og forsinkelse i signalanlæg.

Trafiksignaler er krumtappen i byernes trafikafvikling. Uden signalanlæg ville trafikken simpelthen bryde sammen med uoverskuelige konsekvenser for trafikafviklingen og trafik-sikkerheden. Tilstedeværelsen af trafiksignaler vil dog altid medføre 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.

Dårligt indstillede trafiksignaler eller trafiksignaler med en forældet styreform påvirker trafikanterne på flere måder:

Trafikanter passerer et lyssignal for grønt, men skal stoppe i det næste. Dette kan skyldes dårlig eller ingen koordinering (samordning) mellem lyssignalerne.

FIGUR 1 Trafiksignaler er nødvendige for at afvikle trafikken. Samtidig introduceres en række gener for trafikanterne, naboerne og for samfundet.



FIGUR 2 Bilister, der venter for rødt lys ikke alene spilder tiden, de betaler også dyrt i brændstof. Et stop for rødt lys i 30 sek. og acceleration til 60 km/t koster 34 øre.



Tætliggende lyssignaler bør være samordnede, og signalprogrammerne bør være opdaterede, så de svarer til det enhver tid gældende trafikmønster.

Bilister stopper for rødt lys, uden at der er køretøjer i tværretningen eller krydsende fodgængere.

Signalet har en utidssvarende styringsform, eller detektorer til styring af signalerne er defekte. Vejforvaltningen har intet kendskab til, at detektorer er defekte, eller har ikke ressourcer til at bringe forholdet i orden inden for en rimelig tid.

Grøntiden har en utilstrækkelig længde. Trafikanter må vente mere end én gang på at få grønt lys.

Grøntiderne i krydset bør justeres, så krydset kan håndtere den aktuelle trafik bedst muligt set i lyset af evt. kapacitetsproblemer. Signalanlægget bør have en sådan styring, at det også kan håndtere omlejret trafik forårsaget af vejarbejde eller særlige, planlagte begivenheder.

Ud over den direkte negative påvirkning af den enkelte trafikanter i form af spildt tid, brændstof og penge påvirker trafiksignalerne naboerne indirekte i form af mere støj og luftforurening. Samfundet berøres også, bl.a. i form af luftforurening, CO₂-udslip og trængsel, som påvirker samfundsøkonomien. I hovedstadsområdet er det i "Projekt trængsel" (Trafikministeriet, 2004) beregnet, at den samlede trængsel i 2002 udgjorde i alt 120.000 timer pr. hverdag. Det må formodes, at langt den overvejende del af dette udgøres af ventetid ved hovedstadsområdets mere end 1.200 signalanlæg, idet trængslen på motorvejene i hovedstadsområdet i samme projekt er opgjort til 12.300 timer pr. hverdag.

Forskning i USA (Halkias og Schauer, 2004) viser, at mere end 75 % af USA's 330.000 signalanlæg trænger til en forbedring, enten i form af ny hardware eller blot en justering af signaltiderne, så de er bedre tilpasset det aktuelle trafikmønster. 5-10 % af al forsinkelse i USA antages at stamme fra trafiksignaler med dårlig indstilling, manglende svingpile eller defekte detektorer.

Der er ikke lavet en tilsvarende undersøgelse i Danmark, men det er vurderingen at man i mange signalanlæg i Danmark kunne forbedre trafikafviklingen ved at foretage mindre signaltekniske justeringer eller afhjælpe tekniske fejl.

Hvis vejsystemet i øvrigt har tilstrækkelig kapacitet, bør signalanlæg være indrettet, så følgende krav er opfyldt:

- Ingen skal standse for rødt lys uden grund. Dette gælder især i trafikstyrede signalanlæg, hvor trafikanter kan få et stop, fordi en detektor er gået i stykker eller pga. forkert placerede detektorer
- Ingen skal have grønt lys for blot at skulle standse i det næste, fordi signalerne ikke er samordnede, eller fordi samordningen er dimensioneret for mange år siden til det daværende trafikmønster
- Ingen skal vente på grønt lys mere end én gang i samme kryds. Alle ventende biler bør kunne passere første gang, det bliver grønt

Med stigende trængsel, vil også køretøjernes brændstofforbrug, forurening og CO₂-udslip blive forøget. Hertil kommer, at dårligt eller forkert indstillede signalanlæg vil forringe respekten af signalvisningen. Dette kan medføre mere aggressiv kørsel, hvor trafikanter med høj hastighed prøver at nå frem til krydset, inden det skifter.

Uhensigtsmæssigt indstillede signaler vil også medvirke til en forøget risiko for sivetrafik, hvor trafikanter benytter mindre hensigtsmæssige ruter for at komme forbi et område med kødannelser. Begge forhold må formodes at have en negativ indflydelse på trafiksikkerheden og miljøet i lokalområdet.

Signalanlæg med en hensigtsmæssig indstilling af omløbstider, grøntider og samordning kan medvirke til at forhindre eller afhjælpe ovennævnte problemer. Undersøgelser, såvel nationale som internationale, viser, at forsinkelser i signalanlæg ofte kan reduceres med mellem 5 og 20 % gennem en ændring af signalernes indstilling. Hertil kommer fordelene ved reduktioner i brændstof, forurening og CO₂-udslip og mindre støj for vejens naboer forårsaget af den mere glidende trafik.

Anlæg med alvorlige fejl, såsom slukket signalanlæg eller drift i et forkert signalprogram, vil normalt hurtigt blive opdaget af trafikanterne og udbedret. Sidstnævnte type vil ofte give anledning til lange køer på steder, hvor der normalt ikke er kø. Langt mindre synligt for det utrænede øje er detektorfejl i trafikstyrede signalanlæg, hvor signalet skifter mellem rødt, gult og grønt men uden en hensigtsmæssig afslutning af grønperioderne og eventuelt med brug af faser helt uden trafik.

En dårlig samordning for bilerne eller for korte grøntider har ikke kun konsekvenser for bilisterne, der vil opleve et højere energiforbrug og en ringere komfort. Busser, der deler kørespor med bilerne, vil også få flere stop og en højere forsinkelse pga. kødannelser fremkaldt af uhensigtsmæssig styring af signalanlæg.

Bedre styring af signalanlæggene vil reducere udledningen af farlige stoffer fra køretøjerne. Dette vil gavne cyklister og

fodgængere, der færdes langs vejene. Dette forhold gælder især for strækninger med mange lastbiler og busser, idet disse køretøjer forurener væsentligt mere end personbilerne. En fuldt lastet lastbil, der har holdt for rødt lys, bruger således op mod 0,75 liter brændstof på igangsætning og efterfølgende acceleration op til 60 km/t.

Når nu alle fordele ved optimering af signalanlæg er kendt, hvad er da årsagen til, at mange signalanlæg er dårligt indstillede eller på anden måde er fejlbehæftede? Flere forhold medvirker hertil:

- Gammel signaludrustning
- Manglende elektronisk fjernovervågning
- Manglende trafikdata
- For små bevillinger
- For lille bemanning i forvaltningerne
- Manglende faglige kompetencer inden for området
- Generelt ringe opmærksomhed på problemets omfang og natur

Der kan således være flere hindringer i vejen, som årsag til, at ikke alle forvaltninger løser denne opgave. En af hindringerne kan være af økonomisk art, idet ombygning af et gammelt anlæg til fuld trafikstyring beløber sig til 200.000-300.000 kr.



FIGUR 3 Mange ældre signalanlæg er tidsstyrede med faste grøntider. Det giver længere ventetid og flere stop for trafikken end i et trafikstyret signalanlæg.

2. INTRODUKTION TIL SIGNALANLÆG

2.1 STYREFORMER

Signalanlæg regulerer trafikken ind i vejkryds, vekselvis ensrettede vejstrækninger eller fritliggende fodgængerfelter eller stikrydsninger. Det første signalanlæg i Danmark blev opstillet i København i 1928. I 1960'erne og 1970'erne var der i takt med trafikudviklingen en kraftig tilvækst af nye signalanlæg. Siden 1990 har tilvæksten i nye signalanlæg været mere afdæmpet. I dag er der ca. 2.800 signalanlæg i Danmark.

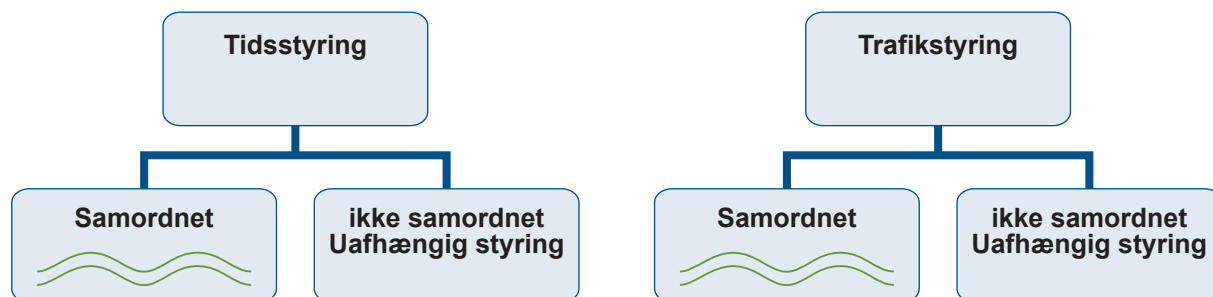
Signalanlæg opdeles i tidsstyrede og trafikstyrede anlæg. I tidsstyrede anlæg er grøntiderne faste fra omløb til omløb. Men grøntiderne kan dog være forskellige for forskellige perioder henover dagen og ugen. Grøntiderne og dermed signalernes omløbstider vil derfor typisk være høje i myldretiderne og korte i øvrige perioder.

I trafikstyrede anlæg er det trafikken, der bestemmer varigheden af det grønne lys. Tilstrømning af et stort antal biler vil give anledning til en længere grøntid. Når der ikke ankommer trafik til signalanlægget, vil det stå i en hvilestilling, hvor der ikke sker skift i nogen af signalerne i anlægget. I langt de fleste trafikstyrede signalanlæg i Danmark

benyttes "præference" eller "alt rødt" som hvilestilling. Med præference som hvilestilling står signalet med grønt lys i hovedretningen. Med alt rødt viser alle signaler rødt, når der ikke er trafik på vej mod krydset.

Køretøjer, cyklister og fodgængere registreres af detektorer. Den meste anvendte type af detektorer i Danmark er den induktive detektor, som består af et elektrisk kabel nedlagt i kørebanen. Typiske fejl for denne type detektor er overgravede tilledningskabler, dårlig elektrisk forbindelse eller skader på spolen, som kan opstå for eksempel på grund af sporkøring.

Uden velfungerende detektorer vil et trafikstyret signalanlæg være delvist blind over for, hvad der sker i signalanlæggets tilfarter. En eller flere defekte detektorer i et kryds vil derfor påvirke trafikafviklingen negativt med større gener for trafikanterne i form af flere stop, længere ventetid og et unødvendigt merforbrug af brændstofforbrug. En ulempe ved et signalanlæg udstyret med mange detektorer og en meget forfintet styring er derfor anlæggets sårbarhed over for detektorfejl.



FIGUR 4 Oversigt over styreformer i signalanlæg. Tids- og trafikstyrede anlæg er enten samordnede eller styres uafhængigt (ikke samordnet) af andre signalanlæg.

Videodetektorer bliver mere og mere udbredte. For denne detektortype er hyppigheden af fejl pga. defekte elektriske forbindelser mindre. Til gengæld kan der på grund af skyggedannelser være problemer med falske anmeldelser og grøntidsforlængelser, hvilket forøger ventetiden for den tværgående trafik.

På figur 4 er illustreret mulige styreformer for signalanlæg. Signalanlæg, der ikke fungerer samordnet med andre signalanlæg, benævnes uafhængige anlæg. Nyetablerede signalanlæg, der ikke er samordnede med andre signalanlæg, skal ifølge vejreglerne være trafikstyrede. En del ældre anlæg fra 1960'erne og 70'erne er tidsstyrede uden at være samordnede med andre anlæg. Disse anlæg kan virke lidt træge eller for hurtige i signalskiftet, fordi skiftet til grønt lys finder sted med faste mellemrum uden hensyntagen til, om der er trafik på vej mod krydset.

2.2 SAMORDNEDE SIGNALANLÆG – GRØNNE BØLGER

Når en række af signalanlæg ligger i en ikke alt for stor indbyrdes afstand, vil det ofte være en fordel at samordne styringen af dem. Samordning betyder, at signalanlæggene arbejder i en bestemt indbyrdes takt omløb for omløb, hvorved det under visse forhold, bestemt af signalernes omløbstid og afstanden mellem de enkelte kryds, vil være muligt at etablere en grøn bølge i begge retninger.

En grøn bølge sikrer, at trafikanter kan passere kæden af signalanlæg med en passende hastighed uden at skulle standse for rødt lys. Samordnede signalanlæg findes derfor især i og omkring de større byer.

Det er normalt ikke muligt at give grøn bølge til alle kørende i et vejnet. I myldretiderne vælges som oftest at etablere en

grøn bølge for trafikken i den mest belastede retning, f.eks. mod centrum om morgenen og fra centrum om eftermiddagen.

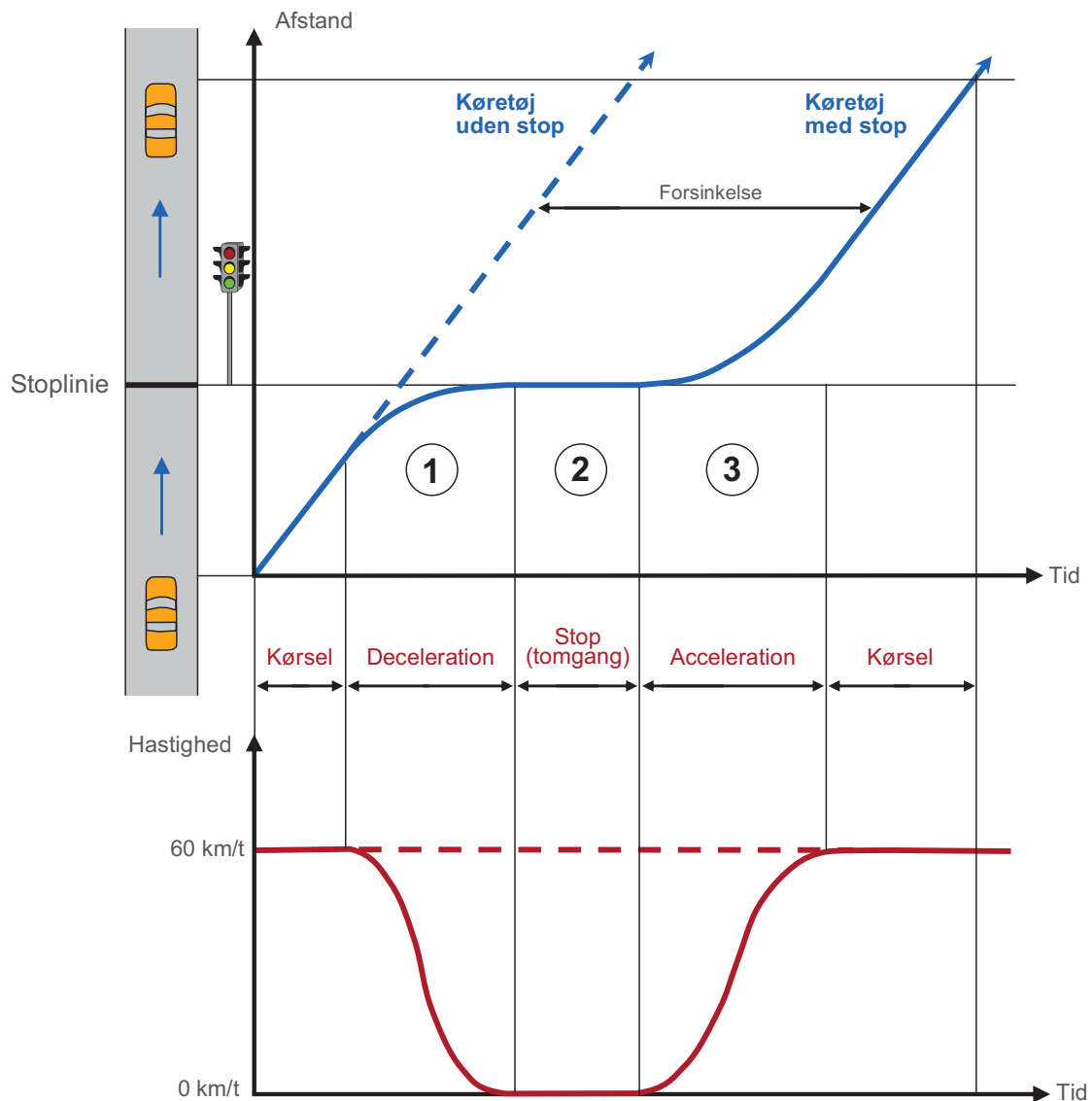
Konsekvensen af ikke at samordne signalanlæg er, at bilisterne på en strækning med mange signalanlæg muligvis skal stoppe unødigt ved et eller flere af anlæggene. Uden samordning vil der også være større risiko for at en kø mellem signalanlæg stuvrer tilbage og blokerer for trafikken i andre kryds.

En særlig type blandt de samordnede signalanlæg udgøres af adaptive systemer. I et adaptivt system er signalanlæggene trafikstyrede og samordnede. Samordningsmønstrene, grøntider, og omløbstider beregnes løbende på baggrund af indsamlede trafikdata fra detektorer. Omløbstiden og fasevalget kan derfor ændres hyppigt, evt. med 5-15 minutters mellemrum. Teoretisk vil adaptive systemer give en bedre trafikafvikling end traditionelle, samordnede systemer. Danske erfaringer med denne type systemer har dog været blandede.

2.3 BRÆNDSTOFFORBRUG OG EMISSION VED STOP

På figur 5 er skematisk vist processen vedr. standsning for rødt lys og efterfølgende igangsætning efter skift til grønt lys. På diagrammet er vist køregraferne for to køretøjer, der hhv. standser for rødt lys (den fuldt optrukne kurve) og fortsætter uden stop for grønt lys (den punkterede linje). Nederst på figuren er vist hastigheden for de to køretøjer.

Et køretøj, der skal standse og starte for rødt lys, gennemløber tre perioder med hver sine karakteristika mht. energiforbrug og emission. I den første periode decelererer køretøjet til det holder helt stille. I periode 2 holder køretøjet stille for rødt lys i tomgang, og i periode 3 accelereres op til den nor-



FIGUR 5 Vej-tid diagram der viser en kørselscyklus ved stop for rødt lys, dvs. deceleration, ventetid og acceleration.

male kørehastighed, i diagrammet angivet til 60 km/t. Under decelerationen bruger køretøjet intet brændstof, forudsat der anvendes motorbremsning. Hvis der trædes på koblingen svarer energiforbruget til tomgangsforbruget. I praksis vil der ofte være tale om en kombination.

Når køretøjet er bragt til standsning, arbejder motoren i tomgang. Tomgangsforbruget for en personbil er i størrelsesordenen 0,9 - 1,3 liter brændstof pr. time afhængig af motorstørrelsen og motortemperaturen (Akçelik and Besley, 2003). Nyere personbiler med moderne motorer kan dog have et tomgangsforbrug helt ned til 0,5 - 0,6 liter pr. time. For lastbiler kan der regnes med et tomgangsforbrug på 2,0 - 2,5 liter pr. time.

Under accelerationen skal køretøjet genvinde den energi, der er gået tabt ved nedbremsningen. Hastigheden inden nedbremsningen er derfor afgørende for, hvor meget energi, der går tabt og dermed også for det ekstra brændstofforbrug et stop for rødt lys forårsager. Forskellige kilder angiver værdier for det ekstra energiforbrug. En australsk brændstofmodel, som benyttes i programsystemet, Sidra, til modellering af rundkørsler og signalregulerede kryds, angiver i et beregningseksempel, at det ekstra energiforbrug ved et kortvarigt stop for rødt lys og acceleration til en hastighed på 60 km/t er på 0,037 liter for en standardpersonbil med en vægt på 1150 kg inklusiv last (Akçelik og Besley, 2003). Dette svarer til en direkte udgift for trafikanten på 38 øre.



En anden og mere grov model findes i TRANSYT-modellen til beregning af samordnede signalanlæg (Binning og Crabtree, 1999). Her er angivet et ekstra brændstofforbrug ved stop fra en udgangshastighed på hhv. 50, 60 og 70 km/t med efterfølgende acceleration op til udgangshastigheden på 0,016, 0,023 og 0,031 liter. Energiforbruget stiger således væsentligt ved stop på veje med en hastighedsgrænse på over 50 km/t.

Ud fra ovenstående forudsætninger kan det beregnes, at et køretøj, der bliver forsinket af rødt lys i 30 sek. og efterfølgende på normal vis accelererer op til en hastighed på 50 km/t bruger 0,008 liter brændstof i tomgang og 0,016 liter til acceleration. Ved en sluthastighed på 60 km/t benyttes yderligere 0,007 liter brændstof. Med en enhedspris på 10,43 kr. pr. liter brændstof udgør dette en ekstraudgift for trafikanten på 25 og 32 øre ved hhv. 50 og 60 km/t.

For tunge køretøjer er energitabet væsentligt højere. For en 30 ton lastbil vil energitabet være ca. 25 gange større end for en gennemsnitlig personbil. Ved 60 km/t medfører et stop for en lastbil med sættevogn eller anhænger således et ekstra brændstofforbrug på mere end 0,5 liter, svarende til en ekstraudgift på mindst 5,00 kr. Volvo har gennemført målinger af en 40 ton lastbils energiforbrug ved et antal stop

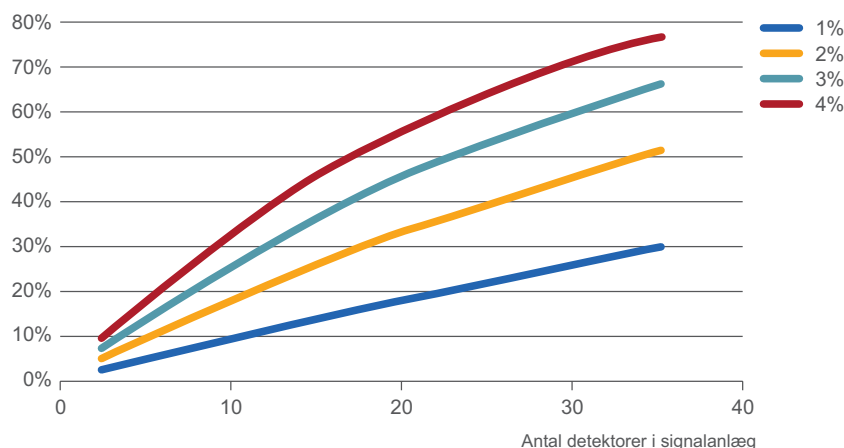
fra 80 km/t på en 10 km lang strækning (Volvo, 2003). Fem stop med efterfølgende accelerationer medførte et merforbrug på ca. 0,75 liter pr. stop.

For den enkelte trafikant synes disse tal måske at være ubetydelige, når man sammenligner med køretøjets årlige totalforbrug. Men adderes bidragene fra alle køretøjer bliver det til ganske betydelige summer, trafikanterne bruger på at holde for rødt lys. Hvis det forudsættes, at hvert tredje køretøj skal standse og vente i 10 sekunder i et kryds med 20.000 indgående køretøjer pr. døgn og en hastighedsbegrænsning på 50 km/t, bliver det samlede årlige brændstofforbrug forårsaget af stop og ventetid for rødt lys på ca. 50.000 liter svarende til en værdi for trafikanterne på mere end 500.000 kr. Hertil skal lægges værdien af trafikanternes tidstab, som er væsentligt højere.

2.4 FEJLOVERVÅGNING AF SIGNALANLÆG

For at sikre at signalanlæggene i det daglige fungerer som tilsigtet har mange vejforvaltninger indført fjernovervågning af deres signalanlæg. Overbrændte lamper, slukkede anlæg, fejlramte detektorer eller manglende synkronisering ved samordning vil således give anledning til en automatisk alarm, hvorefter den nødvendige assistance for udbedring

SANDSYNLIGHEDEN FOR AT ET TRAFIKSTYRET SIGNALANLÆG FUNGERER



FIGUR 6 Sandsynligheden for at et trafikstyret signalanlæg fungerer med en fejl afhængig af antallet af detektorer i krydset og sandsynligheden (%) for en fejl på den enkelte detektor.

kan tilkaldes. Hurtigheden hvormed fejlen afhjælpes afhænger af, hvor alvorlig fejlen er for anlæggets sikkerhedsmæssige og trafikale funktion.

Alvorlige fejl som f.eks. et slukket anlæg vil blive afhjulpeligt inden for få timer, hvorimod detektorfejl ofte først bliver udbedret uger eller måneder senere afhængig af den pågældende vejbestyrelses politik for afhjælpning af fejl.

I anlæg uden overvågning er det normalt kun de meget alvorlige og synlige fejl, som bliver udbedret hurtigt. Mindre alvorlige fejl, som f.eks. detektorfejl, kan have en stor indvirkning på anlæggets trafiktekniske funktion. Disse fejl bliver måske først opdaget ved helårige eftersyn, hvis sådanne overhovedet foretages af den pågældende vejbestyrelse. Det er derfor overvejende sandsynligt, at en stor del af de danske signalanlæg, især de trafikstyrede, er fejlbehæftede i større eller mindre grad, hvilket nedsætter såvel trafiksikkerheden som fremkommeligheden.

I Vejdirektoratets signalanlæg, som næsten alle er overvågede, er det gennemsnitligt mindre end 1 % af detektorerne, som er ude af drift. Dette svarer til, at 15 % af alle anlæg har en funktionsfejl. Denne procentsats vil formentligt være noget højere for signalanlæg uden fjernovervågning.

Hvis signalanlægget ikke er tilsluttet et overvågningssystem, bliver detektorfejl ofte først opdaget, når en tekniker kontrollerer styreapparatets funktion. For signalanlæg uden overvågning vurderer fagfolk inden for signalbranchen i Danmark, at andelen af trafikstyrede signalanlæg med én eller flere detektorfejl udgør 25 %.

Jo flere detektorer, der er i et signalanlæg, jo større er sandsynligheden for at en detektorfejl påvirker anlæggets funktion negativt. Sammenhængen mellem sandsynligheden for et defekt signalanlæg og antallet af detektorer i anlægget er vist i figur 6 for forskellige værdier af risikoen for fejl på en detektor i det pågældende anlæg. I et signalanlæg med 25 detektorer, hver med en fejlsandsynlighed på 2 %, vil der således være en sandsynlighed på 40 % for en detektorfejl i det pågældende signalanlæg.

Fjernovervågning af signalanlæg er derfor et effektivt middel til at holde omfanget af funktionsfejl i signalanlæg nede på et acceptabelt minimum. Forvaltninger med mange trafikstyrede signalanlæg uden overvågning, må derfor forvente, at en stor del af signalanlæggene løbende fungerer med funktionsfejl til skade for trafiksikkerheden og fremkommeligheden.

3. OPTIMERING AF SIGNALANLÆG

3.1 SYSTEMTEKNISK OG TRAFIKTEKNISK DRIFT

Den daglige drift af signalanlæg kan opdeles i systemteknisk og 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 der til den trafiktekniske drift benyttes værktøjer som kapacitets- og optimeringsmodeller baseret på trafiktællinger.

Den systemtekniske drift skal primært sikre, at signalanlæggets tiltænkte funktion opretholdes. Dette omfatter både forebyggende og afhjælpende vedligehold af styreapparat, signallanter og detektorer.

Systemteknisk drift er en nødvendighed for at signalanlæggenes overhovedet kan være i drift. Som minimum skal der ske reparation/udskiftning af fejlramte eller udslidte komponenter, når der sker alvorlige fejl på et anlæg.

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 samt forlængelsestider 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 er tilrettelagt på en sådan måde, at trafikanterne på strækningen sikres så få stop og så kort en ventetid som muligt.

3.2 SIGNALOPTIMERING – HVAD OMFATTER DET?

Hvert signalanlæg indeholder et sæt unikke parametre til styring af det pågældende signalanlæg. For trafikstyrede

signalanlæg omfatter dette bl.a. minimum- og maksimumgrøntider, grøntidsforlængelser for detektorer, signalernes rækkefølge samt mellemtider.

For tidsstyrede anlæg skal grøntiderne og omløbstiden afspejle den maksimale trafikmængde i den periode, signalprogrammet skal være gældende. Hvis ventetiden er urimelig lang i en tilfart, men ikke på den skærende vej, kan en omfordeling af grøntiden være relevant, eller omløbstiden kan ændres.

For samordnede signalanlæg kommer der yderligere en parameter til, nemlig den tidsmæssige forskydning af tidspunktet for start af grønt lys i to naboanlæg på en strækning. Hvis signalanlægget arbejder med flere signalprogrammer, f.eks. med forskellige grøntider eller signalstruktur, skal der endvidere være defineret et tidspunkt (klokkeslæt, ugedag) eller en trafikal betingelse for, hvornår der skal skiftes mellem de forskellige programmer.

Da trafikmængderne varierer systematisk gennem dagen, ugen og henover året (herunder ferier og helligdage) er det vigtigt at disse ændringer reflekteres i signalernes tidssætning og udnyttes i form af den fleksible styring, moderne styreapparater stiller til rådighed. Dette sker ofte ved, at der er flere forskellige programmer for myldretiderne, for dagtimerne og for aften- eller nattetimerne og for hverdage, lørdage og søndage.

Signaloptimering omfatter justeringer i styringen, således at signalanlægget bedre kan håndtere skiftende trafikale betingelser, f.eks. ændrede trafikmængder eller trafikmønstre. Strategier for signaloptimering omfatter minimering af forsinkelse og antal stop, brændstofforbrug, luftforurening og forøgelse af trafikanternes fremkommelighed.

Signaloptimering kan også omfatte etablering af særlige faser, der kan lette afviklingen af den svingende trafik. Endvidere kan den rækkefølge, hvori de enkelte trafikstrømme betjenes i signalanlægget inden for et signalomløb medvirke til at skabe mere kapacitet og dermed forbedre fremkommeligheden.

Mindre geometriske ændringer i et kryds kan også komme på tale, f.eks. omstribning samt etablering eller forlængelse af svingspor.

Ved længerevarende vejarbejder i eller omkring et signalanlæg vil kapaciteten ofte være nedsat. I denne situation er det vigtigt at have gennemført en analyse af, om signalanlægget kan afvikle trafikken i perioden med den nedsatte kapacitet, og om der skal ske en ændring i grøntiderne. Også hvis et vejarbejde medfører omlejring af trafik, skal signalregulerede kryds på den rute, hvor trafikken søger hen, være indstillet til at håndtere den øgede trafik.

Også efteruddannelse, så forvaltningers og rådgiveres kompetencer inden for området bliver højet, er af betydning. Dette er væsentligt, ikke kun for det daglige arbejde med trafikafvikling i signalanlæg men også for at kvaliteten af samspillet med rådgivere, der for de fleste vejforvaltninger er dem, der står for projektering af signaltekniske ændringer, kan blive bedre.

3.3 HVORFOR OPTIMERE SIGNALANLÆG?

Optimering af signalanlæg er et af de mest rentable tiltag til forbedring af trafikafviklingen. Med optimeret signalstyring

og samordning vil trafikanterne få et færre antal stop og så lille ventetid som muligt. Endvidere vil brændstofforbrug, luftforurening og udledning af CO₂ blive reduceret.

Den høje rentabilitet af signaloptimering er bekræftet i utallige studier både i Danmark og i udlandet. Ofte er der tale om et benefit/cost forhold på 40:1, dvs. investeringen samfundsmæssigt set kommer hjem 40 gange det første år.

Fordelene ved optimering af signalanlæg kan opsummeres til følgende:

- Forbedrer trafikafviklingen på en strækning eller i et kryds
- Medfører mindre luftforurening og CO₂-udledning
- Giver bedre service til trafikanterne
- Medfører færre uheld på grund af færre stop i trafikken
- Giver større vejkapacitet og mindre trængsel

Der er således mange vægtige grunde til at fokusere på den trafiktekniske drift af signalanlæg.



4. SIGNALANLÆG I DANMARK

4.1 SPØRGESKEMAUNDERSØGELSE

Der findes ikke et centralt register over signalanlæggene i Danmark. For at tilvejebringe et overblik over signalanlæggene og deres styreform gennemførte Vejdirektoratet i 2007 en spørgeskemaundersøgelse, hvor de danske vejmyndigheder blev bedt om at svare på en række enkle spørgsmål vedrørende deres signalanlæg.

Der er herigennem fremskaffet information om alle Vejdirektoratets og kommuners signalanlæg. Undersøgelsen dækker derfor alle signalanlæg i Danmark med undtagelse af nogle få private signalanlæg ved f.eks. havne og lufthavne.

Resultaterne fra spørgeskemaundersøgelsen er bl.a. anvendt til at give et skøn over det samlede potentiale for forbedring af signalanlæg i afsnit 7.

Antal signalanlæg

Som det første er spurgt om antallet af signalanlæg. Opgørelse af vejmyndighedernes svar viser, at der ved udgangen af 2007 var 2803 signalanlæg i Danmark. Københavns Kommune og Vejdirektoratet er vejmyndighed for flest signalanlæg med henholdsvis 349 og 312 anlæg.

Nogle styreapparater styrer flere tætliggende kryds. Antallet af lysregulerede vejkryds er derfor større end de nævnte 2803. Til gengæld indgår lysregulerede, fritliggende fodgængerfelter/stikrydsninger også i opgørelsen. Det er uklart om besvarelserne omhandler antal styreapparater eller antal lysregulerede vejkryds. Sædvanligvis baseres opgørelser af denne art på antal styreapparater og ikke på antal lysregulerede vejkryds. Det må derfor formodes at alle, eller næsten alle besvarelser dækker over antallet af styreapparater.

Styreformer

Dernæst er forvaltningen spurgt om fordelingen af signalanlæg på forskellige styreformer. I erkendelse af at mange kommuner ikke har detaljeret kendskab til det enkelte signalanlægs funktion, er der udelukkende spurgt om nogle overordnede forhold vedr. signalanlæggene. F.eks.:

- Antallet af signalanlæg i alt
- Antallet af samordnede og ikke samordnede anlæg
- Antallet af trafikstyrede ikke-samordnede anlæg
- Antallet af tidsstyrede, ikke-samordnede anlæg

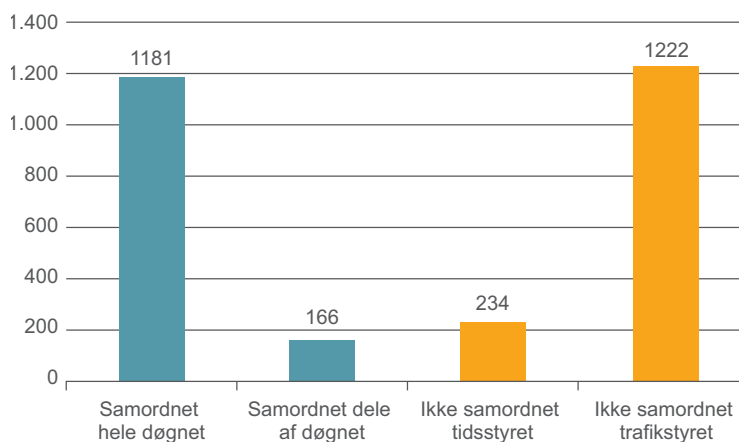
Resultatet er vist i figur 7. Det fremgår, at andelen af samordnede og uafhængigt styrede, fritliggende signalanlæg er nogenlunde lige stor. Der er i alt 1.347 samordnede signalanlæg. De samordnede signalanlæg ligger typisk i byerne. Samordningerne er oftest traditionelle samordninger med fast omløbstid, men også adaptive systemer er medregnet, idet der for samordnede systemer er en flydende overgang spændende fra hel simpel til meget komplicerede og avancerede systemer. 12 % af de samordnede signalanlæg fungerer kun samordnet dele af døgnet. Når samordningen kun gælder for dele af døgnet betyder det, at disse signalanlæg er trafikstyrede. Signalanlæggene kan for eksempel være indrettet, så de fungerer samordnet ved høje trafikbelastninger og ikke samordnet ved lave trafikbelastninger.

Der er i alt 1.456 ikke samordnede signalanlæg. Signalanlæg udenfor byområder er typisk fritliggende, men også i byerne falder en del signalanlæg indenfor denne kategori, idet fritliggende signalanlæg er defineret som alle ikke samordnede signalanlæg. Ifølge de gældende vejregler for signalanlæg skal alle nyanlæg af ikke samordnede signalanlæg trafikstyres. Dette har altid været god projekteringspraksis, men er først for nylig blevet ophøjet til en norm. Derfor er der 234 ældre, fritliggende signalanlæg, der udelukkende fungerer med tidsstyring.

Overvågning

Spørgeskemaundersøgelsen indeholdt også et spørgsmål om overvågning for at opnå overblik over, hvor mange signalanlæg, der er fjernovervågede, så opståede fejl automatisk bliver registreret. Med et overvågningssystem vil fejl blive rapporteret automatisk til en central, hvilket gør det væsentlig lettere og hurtigere at opdage fejl og afhjælpe disse.

FORDELING AF LANDETS 2.803 SIGNALANLÆG



FIGUR 7 Fordelingen af landets 2.803 signalanlæg på styreform.

Cirka 40 % af landets signalanlæg er ifølge undersøgelsen ikke tilsluttet et overvågningssystem. For disse signalanlæg opdages fejl først, når trafikanter, politi eller andre gør vejmyndigheden opmærksom på fejlene. Med en så høj andel af anlæg uden overvågning, skønnes det at rigtig mange trafikstyrede anlæg har detektorfejl, der påvirker trafikafviklingen og måske også trafiksikkerheden i negativ retning.

Videodetektering

Anvendelsen af videodetektering i signalanlæg får større og større udbredelse i Danmark. For at få overblik over antallet af installationer med videodetektering blev kommunerne spurgt i hvor mange signalanlæg de anvendte videodetektering.

Tilbagemeldingerne viste at 46 signalanlæg ultimo 2007 benyttede video til detektering af køretøjer. Det svarer til cirka 4 procent af de trafikstyrede signalanlæg.

Årsværk

I det sidste spørgsmål i spørgeskemaundersøgelsen blev respondenterne spurgt om antallet af årsværk, forvaltningerne benytter til at planlægge ændringer i signalindstillingen (omløbstider, grøntider og samordning) med henblik på forbedring af trafikafviklingen. Netop denne indsats er meget vigtig for at signalanlæggene hele tiden holdes i en sådan stand, at ulemperne ved signalanlæggene og dermed trafikanternes omkostninger holdes på så lavt et niveau som muligt.

Svarene fra kommunerne viser, at der er meget stor usikkerhed omkring dette emne. Det vurderes, at nogle kommuner

har svaret på, hvor meget tid der i alt benyttes til arbejdet med signalanlæg i kommunen inkl. geometriske ombygninger og etablering af nye anlæg.

Bemærkninger

Gennemførelsen af spørgeskemaundersøgelsen har ud over besvarelsen af de konkrete spørgsmål givet et indblik i den lokale viden om signalanlæg i landets kommuner. Respondenterne havde ved hvert spørgsmål mulighed for at komme med bemærkninger til besvarelsene, og disse bemærkninger antyder, at mange kommuner kun har begrænset viden om signalanlæg og deres funktion.

Uden denne viden er det i praksis umuligt at gennemføre signaltekniske justeringer til fordel for trafikafviklingen, med mindre forbedringerne er grundet i store, synlige afviklingsmæssige problemer eller sker i forbindelse med trafiksikkerhedsmæssige ombygninger af krydsene. I sådanne situationer foretages ved hjælp fra rådgiver eller signalleverandør normalt en gennemgang og opdatering af signalanlæggenes funktion.

4.2 ÅRLIGE SAMFUNDSOMKOSTNINGER I DANSKE SIGNALANLÆG

Ud fra afsnit 3 er det indlysende, at danske bilister spilder enorme summer i signalanlæg i form af tabt tid og ekstra brændstof. I Sverige blev det i 1990 (Davidsson, 1990) beregnet, at de samlede omkostninger i de 3.500 svenske signalanlæg var ca. 12 mia. SEK årligt, svarende til 3,4 mio. SEK pr. signalanlæg. Ulykkesomkostninger er medregnet men ikke miljøomkostninger i form af luftforurening.



Den svenske undersøgelse, hvor overslaget er opdelt i bidrag fra hhv. uafhængigt styrede anlæg og samordnede anlæg, slutter af med at konkludere, at det er muligt at reducere de gennemsnitlige trafikantomkostninger i uafhængigt styrede og i samordnede anlæg med hhv. 120.000 og 230.000 SEK årligt i 1990-niveau.

En tilsvarende grov opgørelse af de årlige samfundsomkostninger i danske signalanlæg viser samlede omkostninger på 13,8 mia. kr. eller 4,9 mio. kr. pr. signalanlæg i prisniveau 2010. Det danske overslag synes at være noget lavere end det svenske overslag, når man medregner inflationen i den mellemliggende periode. Overslaget er detaljeret beskrevet i bilag 2.

Overslaget er baseret på nogle simple forudsætninger om trafikmængder og forsinkelser i et gennemsnitligt dansk signalanlæg samt på hvor stor en andel af trafikanterne, der skal stoppe. De ikke stoppede køretøjer forventes at køre frit igennem signalanlægget uden stop, ventetid og ekstra brændstofforbrug.

Endvidere indgår ulykkesomkostningerne. I 2009 skete i alt 2.184 ulykker i danske signalanlæg, heraf 469 med personskade med i alt 563 dræbte og tilskadekomne. Det samlede samfundsmæssige tab ved trafikulykker kan ved brug af Vejdirektoratets sædvanlige metode og trafikøkonomiske enhedspriser (DTU Transport, 2010) opgøres til kr. 2.441 mio.

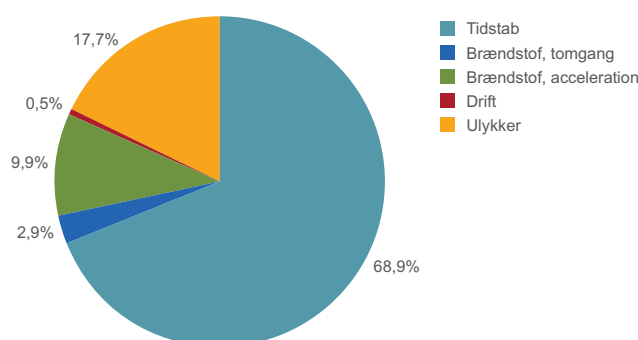
Miljøomkostninger frembragt af køretøjernes emission i signalanlæggene er udeladt, idet disse udgør en meget lille del af de samlede samfundsmæssige omkostninger. Drift, vedligehold og overvågning af anlæggene er sat til 25.000 kr. pr. anlæg pr. år.

Ved beregning af brændstoffomkostninger er det forudsat, at de standsede køretøjer får et stop på i alt 17 sek., hvortil kommer et tidstab på 2x4 sekunder til hhv. deceleration og acceleration, i alt en forsinkelse på 25 sekunder. Det antages, at et standset køretøj har et tomgangsforbrug på 1,0 liter/time og et ekstra brændstofforbrug til acceleration på 0,016 liter.

Omkostning pr. år (1000 kr.)	Pr. anlæg	For 2.803 anlæg	%
Tidstab	3.381	9.478.000	68,9
Brændstof for rødt lys	144	403.000	2,9
Brændstof ved acceleration	487	1.366.000	9,9
Trafikulykker	871	2.441.000	17,7
Drift, el mv.	25	70.000	0,5
I alt	4.908	13.758.000	100

TABEL 1 Skønnede årlige omkostninger i danske signalanlæg i 2010.

SAMFUNDSØKONOMISKE OMKOSTNINGER I SIGNALANLÆG



FIGUR 8 Fordeling af de samfundsøkonomiske omkostninger i signalanlæg. De samlede årlige omkostninger i udgør kr. 4,6 mio. pr. signalanlæg. Driften udgør 0,5 % af omkostningerne.

De nævnte samfundsmæssige omkostninger er ikke et udtryk for samfundets udgifter ved signalanlæg. Det er kun brændstofudgifterne, driften af signalanlæggene samt en del af ulykkesomkostningerne, der reelt udgør udgifterne. Resten af omkostningerne udgøres af tidsværdien og de samfundsrelaterede omkostninger ved trafikuheld baseret på Transportministeriets trafikøkonomiske enhedspriser.

De detaljerede beregninger baseret på ovennævnte forudsætninger er vist i bilag 2. Omkostningsfordelingen er vist i Tabel 1 og illustreret i figur 8.

I denne opgørelse er det især tidstab for bilisterne, der udgør den tungtvejende del af omkostningerne. Ses alene

på bilisternes forbrug af brændstof ved at holde for rødt og det ekstra forbrug, der er nødvendigt for at accelerere op til den normale kørehastighed, andrager dette over 600.000 kr. årligt pr. signalanlæg fordelt med ca. 25 % på ventetid for rødt og ca. 75 % på acceleration.

Samlet set har trafikanterne således et stort merforbrug af brændstof ved stop i signalanlæg. Det vurderes, at der er tale om 170 mio. liter brændstof pr. år, svarende til en værdi på 1,8 mia. kr. årligt. Gennemsnitligt svarer dette til ca. 700 kr. pr. indregistreret køretøj.

Selv små forbedringer i signalanlæg kan således have en stor effekt på den enkelte trafikants udgift til brændstof.

5. LITTERATURSTUDIUM

Som forprojekt er der gennemført et litteraturstudium vedr. effekten af optimering af signalanlæg. Studiet omfatter ca. 70 forskningsrapporter og 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 i en lang række tilfælde.

Litteraturstudiet har afdækket mange referencer om evaluering af fremkommelighed i signalanlæg. Kvaliteten af referencerne er imidlertid meget varierende, hvilket gør en direkte sammenligning vanskelig mellem forskellige evalueringer. I forbindelse med vurdering af kvaliteten af en evaluering er det vigtigt at være opmærksom på følgende forhold:

- Hvis den eksisterende styring/samordning ikke er god, er det let at opnå store forbedringer
- Strukturen i vejnettet og trafikens fordeling har stor betydning for den opnåelige effekt
- I signalsystemer med få signalanlæg er det nemmere at opnå store relative forbedringer end i større netværk
- Alle ruter i et netværk af signalanlæg indgår sjældent i evalueringen
- Leverandøren eller den projektansvarlige har ofte part i evalueringerne.

For samordnede signalanlæg vurderes ud fra litteraturstudiet, at potentialet for reduktion i forsinkelsen i myldretiderne ved at benytte optimeringsprogrammet TRANSYT (Binning and Crabtree, 1999) til at udarbejde indstillingen af signal-samordninger ofte vil være i størrelsesordenen 5-20 %. Potentialet for adaptiv styring kan give en yderligere reduktion i forsinkelsen på 5-15 %. Adaptiv styring vil desuden have den fordel, at den vil være mere fleksibel uden for myldretiderne og i forbindelse med hændelser.

Særligt i samordnede signalanlæg kan der være et stort potentiale for forbedringer. Hvis en samordning ikke fungerer optimalt, er der stor sandsynlighed for at mange bilister vil få unødvendige stop. Især stop for rødt lys medfører en signifikant forøgelse af køretøjernes brændstofforbrug ved gennemkørsel af en strækning med signalanlæg.

I et samordnet signalsystem i Hørsholm er der med TRANSYT-modellen estimeret brændstofbesparelser på op mod 20 % (Lauritzen, 1995), såfremt den eksisterende samordning blev omstillet. I dette tilfælde var der sandsynligvis tale om en ikke særlig hensigtsmæssig udformning af den eksisterende samordning.

Optimering af trafikafviklingen i signalanlæg har også positive konsekvenser for miljøet. Både brændstofforbruget og emissioner vil blive reduceret, når forsinkelse og antal stop bliver mindre. Ud fra beregninger af brændstofforbruget i TRANSYT vurderes, at potentialet for reduktion i brændstofforbrug er i størrelsesordenen 5-10 %.

Nødvendigheden af en velfungerende drift og vedligeholdelse af signalanlæg bliver ofte nævnt i litteraturen. Den daglige drift er blandt andet vigtig for at sikre, at defekte spoler repareres hurtigt, så generne for trafikafviklingen minimeres. I en svensk undersøgelse (Kronborg, 1996) er det beregnet, at en defekt spole i et udvalgt signalanlæg med stor trafik forøgede den gennemsnitlige forsinkelse med 35 %. Dette medførte samlet set ekstra trafikantomkostninger på 10.000 kr. pr. dag i form af spildt tid og ekstra energiforbrug.

Flere kilder anbefaler at gennemføre trafiktekniske tilsyn hvert 3. - 5. år. I et trafikteknisk tilsyn gennemgås styringen af et signalanlæg, og der gives eventuelt forslag til justeringer af signalprogrammer i forhold til eventuelle ændringer i trafikbelastningen. Trafiktekniske tilsyn forsømmes ofte i Danmark. Effektberegninger af mindre justeringer af signalanlæg er i litteraturen begrænsede, men der vurderes at være et stort potentiale for forbedringer.



I Californien blev der fra 1983 - 1993 gennemført et projekt benævnt FETSIM (Fuel Efficient Traffic Signal Management (Skarbadonis, 1994)). Fra delstaten blev der over en 10 års periode givet støtte til en række kommunale projekter, der havde til formål at reducere trafikanternes brændstofforbrug alene gennem en ændring af styringen af trafiksignalerne. I alt blev 12.000 trafiksignaler i perioden optimeret. Optimeringen omfattede både uafhængigt styrede signaler og samordnede systemer. Endvidere blev styringsformen i en række ikke samordnede signalanlæg ændret til samordning. Alle ændringer blev dokumenteret med modelberegninger.

I gennemsnit var udgifterne til optimeringen tjent hjem fem gange alene i form af brændstofbesparelser og 46 gange i form af tidsbesparelser. Dette svarer i gennemsnit til en tilbagebetalingstid på 7 dage eller et benefit/cost-forhold på 51:1!

Forrentningen af en investering i optimering af signalanlæg er sammenlignet med andre infrastrukturinvesteringer således ekstremt høj. For forholdsvis begrænsede midler kan

trafikafviklingen forbedres i ikke samordnede, tidsstyrede signalanlæg og i signalanlæg, der indgår i en samordning. I litteraturen nævnes ofte benefit/cost forhold mellem 15 og 40 for optimering af tidsstyrede samordninger. Et benefit/cost forhold på 40 svarer til at en investering på 1 kr. giver en forrentning på 40 kr. det første år, svarende til en førsteårsforrentning på 4000 %.

Investeringen i adaptive systemer er noget større, men alligevel giver samfundsøkonomiske vurderinger en indikation af benefit/cost forhold mellem 5 og 10 for adaptive systemer, hvilket også er ekstremt højt i forhold til f.eks. investeringer i nye veje eller vejudbygninger. Sådanne projekter har typisk et benefit/cost forhold i størrelsesordenen 0,05-0,15, svarende til en forrentning på 5-15 %.

Alle erfaringer viser således, at små investeringer i forbedringer af trafiksignaler samfundsmæssigt set er særdeles lønsomt. Ikke alene er der normalt tale om en relativt lille investering, der er også tale om en ekstrem høj samfundsøkonomisk forrentning af investeringen.

6. SIMULERING AF SIGNALSTYRING

For at kvantificere effekten af at optimere signalanlæg er der udført en række analyser af trafik kvaliteten ved forskellige former for signalstyring. Styringen af såvel enkeltstående som samordnede signalanlæg er simuleret med simulationsprogrammet VISSIM, der giver mulighed for detaljerede analyser af kvaliteten af trafikafviklingen ved forskellige former for signalstyring med præcis den samme trafikmængde og ankomstmønster.

Hvor der til beregning af tidsstyrede signalanlæg er udviklet kapacitetsberegningsprogrammer (f. eks. Dankap, (Vejdirektoratet, 2008)), har det hidtil været vanskeligt at beregne de trafikale effekter af trafikstyrede signaler. Med udbredelsen af simuleringsværktøjer er det nu blevet lettere at beregne effekter som f.eks. stop, forsinkelse, brændstofforbrug og forurening ved forskellige udformninger af styringen i signalanlæg.

I de følgende afsnit er der redegjort for resultaterne af simuleringer for forskellige former for styring af et typisk enkeltstående signalanlæg, et signalreguleret ruderanlæg, samt for to signalsamordninger. Endvidere er de trafikale og samfundsmæssige effekter analyseret i et kryds, hvor én eller flere detektorer er defekte.

6.1 UAFHÆNGIGT STYRET SIGNALANLÆG

Simuleringerne af et uafhængigt styret signalanlæg viser, at effekten af at trafikstyre et sådant signalanlæg er meget stor. I eksemplet er forsinkelsen og merforbruget af brændstof i et tidsstyret signalanlæg således 2,5 gange større med tidsstyring end med driftsformen "alt rødt".

6.1.1 Forudsætninger

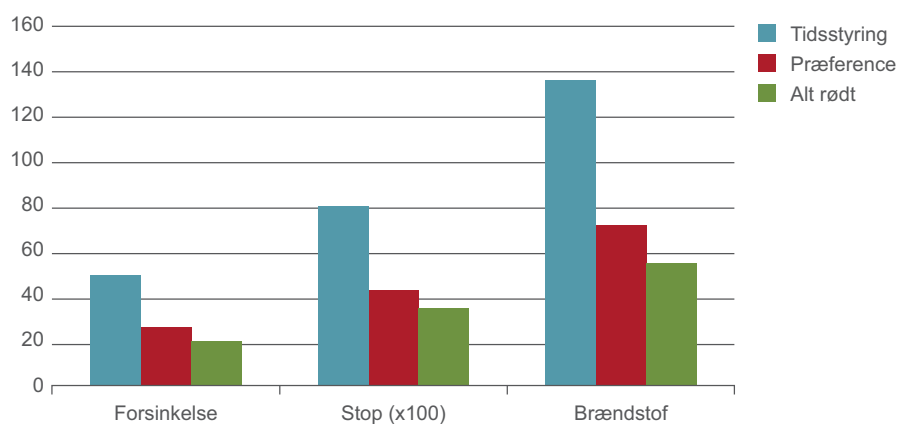
Krydset der benyttes i eksemplet fungerer i dag med driftsformen "alt rødt". Det vil sige, at alle signaler viser rødt, når der ikke er trafik på vej mod krydset. Formålet med simuleringerne har været at vurdere virkningerne på trafikken ved forskellige styreform og ved forskellige typer af mulige fejl på detektorsystemet i det pågældende kryds.

I krydset er årsdøgntrafikken på den primære og sekundære vej hhv. 13.000 og 2.000 pr. hverdagsdøgn. Hastighedsgrænsen er i alle tilfarter 50 km/t.

Følgende styreform er simuleret:

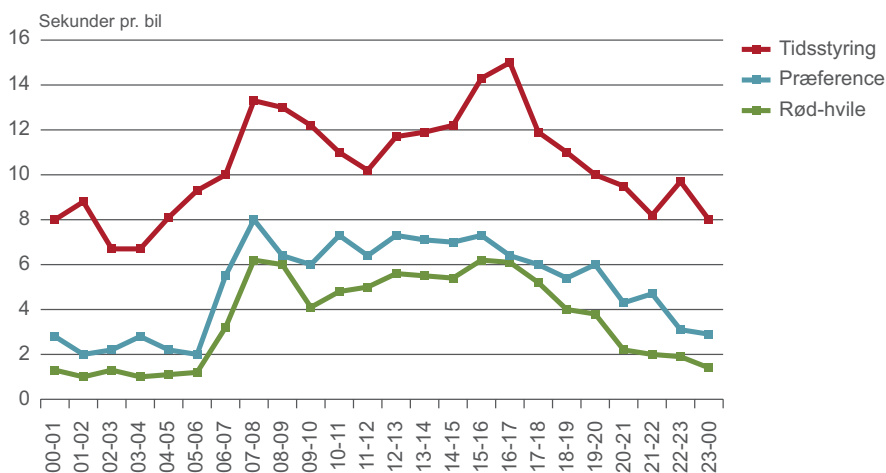
- **Tidsstyring** med omløbstider på
 - 62 sek. i myldretiderne (kl. 7.00-9.00 og kl. 15.00-17.00)
 - 42 sek. uden for myldretiderne

SAMLET FORSINKELSE FOR ET HVERDAGSDØGN



FIGUR 9 Samlet forsinkelse for et hverdagsdøgn for forskellige driftsformer. Anvendte enheder: Forsinkelse: Køretøjstimer, Stop: i hundreder, Brændstofforbrug: Liter

FORSINKELSE I ET HVERDAGSDØGN



FIGUR 10 Gennemsnitlig forsinkelse pr. bil fordelt over døgnet for de tre styreformer alt rødt, præference og tidsstyring.

- **Præference**, hvor signalanlægget har hvilestilling med grønt for den primære vej
- **Alt rødt**, hvor signalanlægget har hvilestilling med rødt for alle retninger

Ved nyanlæg benyttes aldrig tidsstyring i signalanlæg, der ikke er samordnede med andre signalanlæg. Når det er valgt at simulere denne styreform, er det begrundet i, at der på det kommunale vejnet fortsat findes en del ældre signalanlæg af denne type. De udgør ca. 8 % af alle signalanlæg.

Ved tidsstyring er signalanlæggets grøntider tilpasset trafikens variation gennem døgnet. Omløbstiden er 62 sek. i myldretiderne og 42 sek. i øvrige perioder.

6.1.2 Resultater

Simuleringerne er udført for en hverdag, og dækker alle døgnets 24 timer, så konsekvenserne af de forskellige driftsformer er vurderet afhængig af tidspunkt på dagen. Resultaterne, der for hver af styreformerne er vist på figur 9, afspejler derfor et helt hverdagsdøgn.

Resultaterne er opgjort som summen af køretøjernes forsinkelse, antal stop og brændstofforbrug gennem et hverdagsdøgn. Hvor forsinkelsen er angivet i køretøjstimer, antal stop i antal hundrede og brændstofforbruget i liter.

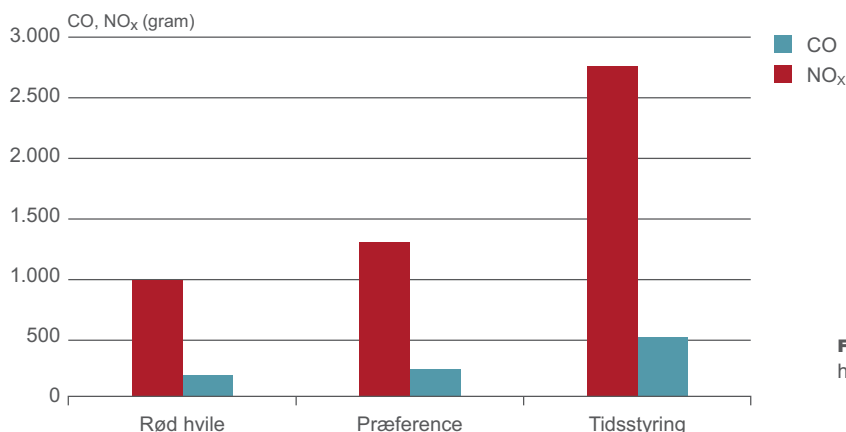
Set fra trafikanternes synspunkt giver trafikstyring med hvilestillingen alt rødt den bedste fremkommelighed. En styreform med præference for hovedretningen er lidt dårligere. Det samlede tidstab over døgnet er ved præference og tidsstyring hhv. ca. 30 % og 150 % højere end med driftsformen alt rødt.

For antallet af stop er de tilsvarende tal for præference og tidsstyring 23 % og 133 %. For brændstofforbruget gælder, at merforbruget over et døgn er hhv. 31 % og 147 % svarende til et merforbrug pr. dag i forhold til et anlæg med alt rødt på 17 liter for præferenceanlægget og 81 liter for et anlæg med tidsstyring.

Omregnet til et helt år udgør ekstraomkostningen ved tidsstyring i forhold til trafikstyring med alt rødt 1,9 mio. kr. fordelt med 1,666 mio. kr. på tidsomkostninger og 0,275 mio. kr. til merforbrug af brændstof. Set fra et samfundsøkonomisk og et trafikantmæssigt synspunkt er der således store fordele ved trafikstyring. Udgiften til etablering af trafikstyring i et eksisterende lyskryds anslås at være 200-300.000 kr. afhængig af de lokale forhold.

Den gennemsnitlige forsinkelse pr. køretøj henover døgnet er for hver af styreformerne vist på figur 10. Det fremgår, at for den enkelte bilist er fordelene ved trafikstyring størst om natten, hvor trafikintensiteten er lav.

UDLEDNING AF CO OG NO_x I ET HVERDAGSDØGN



FIGUR 11 Samlet udledning af CO og NO_x for et hverdagsdøgn for forskellige driftsformer.

Luftforureningen på grund af brændstofforbruget i og omkring signalregulerede kryds følger i en vis udstrækning det tilhørende brændstofforbrug. På figur 11 er vist udledningen af CO og NO_x ved de tre former for signalstyring. Ikke overraskende ses, at tidsstyringen igen giver det største bidrag til emissionerne.

6.1.3 Detektorfejl

Detektorerne er akilleshælen i trafikstyrede signalanlæg. Hvis der opstår fejl på en detektor, kan køretøjernes forsinkelse og brændstofforbrug blive væsentligt forøget.

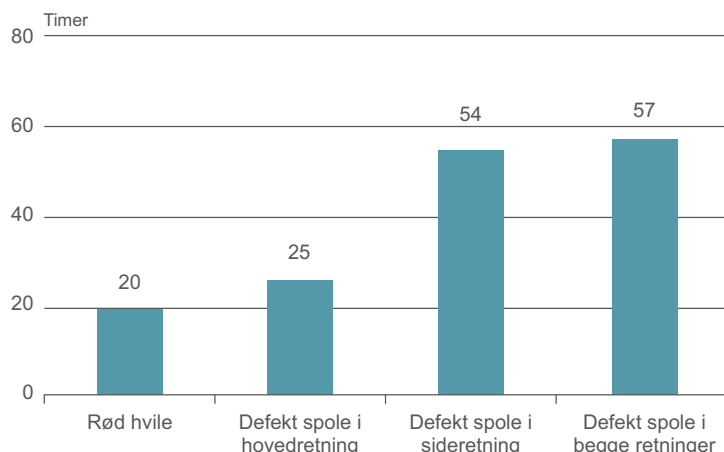
De i ovenstående afsnit beregnede effekter af trafikstyring er kun gældende, når detekteringen af trafikken i krydset fungerer. I praksis opleves imidlertid ofte problemer med, at detektorer ikke fungerer korrekt, hvorved detekteringen af køretøjer bliver upålidelig eller evt. helt fraværende. Ved automatisk registrerede fejl på detekteringen er styreapparatet normalt programmeret til at anmelde og forlænge grøn-

tiden til maksimum for den tilknyttede signalgruppe. Dette betyder, at en defekt detektor ikke medfører, at køretøjer bliver "glemt" af signalanlægget og dermed aldrig får grønt lys. Signalanlægget vil arbejde med lange og ofte tomme grønperioder med forøgede ventetider og brændstofforbrug for ventende trafikanter.

For at vurdere effekten af fejl i detekteringen i danske trafikstyrede signalanlæg er der taget udgangspunkt i simuleringerne af det fritliggende, trafikstyrede signalanlæg i eksemplet i afsnit 6.1. Der er udført simuleringer, hvor der er fejl på en detektor i henholdsvis hovedretningen, sideretningen og i begge de skærende retninger. Det er forudsat, at detektorfejlene medfører, at de signaler, som styres af spolerne, anmelder og forlænger grøntiden. Den samlede forsinkelse og det samlede benzinforbrug for et hverdagsdøgn er vist henholdsvis på figur 12 og figur 13. I første søjle er vist de tilsvarende værdier for et velfungerende, trafikstyret anlæg med alt rødt som hvilestilling.

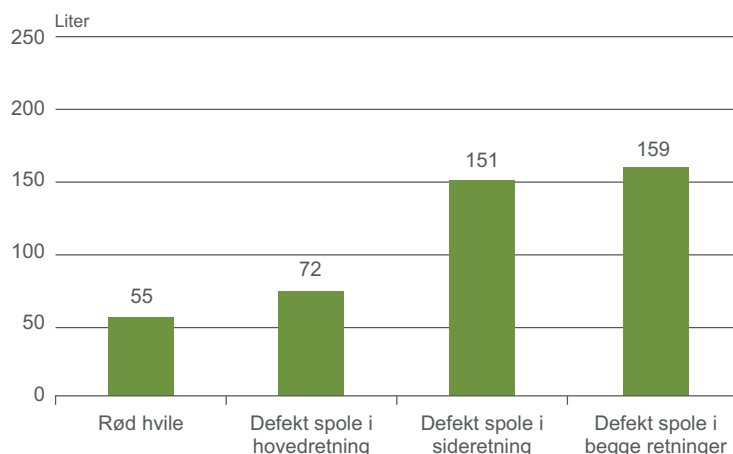


FORSINKELSE PR. HVERDAGSDØGN MED DEFEKTE SPOLER



FIGUR 12 Samlet forsinkelse pr. hverdagsdøgn med defekte spoler sammenlignet med alt rødt uden defekte spoler.

BRÆNDSTOFFORBRUG PR. HVERDAGSDØGN MED DEFEKTE SPOLER



FIGUR 13 Samlet brændstofforbrug pr. hverdagsdøgn med defekte spoler sammenlignet med alt rødt uden defekte spoler.

6.1.4 Samfundsøkonomiske effekter

Som nævnt tidligere er de samfundsøkonomiske gevinster ved at optimere signalanlæg store. For at standardisere beregningerne og kvantificere de samfundsøkonomiske effekter for signalanlæg er der udviklet en regnearksmodel til at beregne de samfundsøkonomiske konsekvenser af ændringer i signalregulerede kryds.

Modellen er udviklet med udgangspunkt i Teresa-modellen, beskrevet i rapporten "Manual for samfundsøkonomisk analyse - anvendt metode og praksis på transportområdet" (Trafikministeriet, 2003).

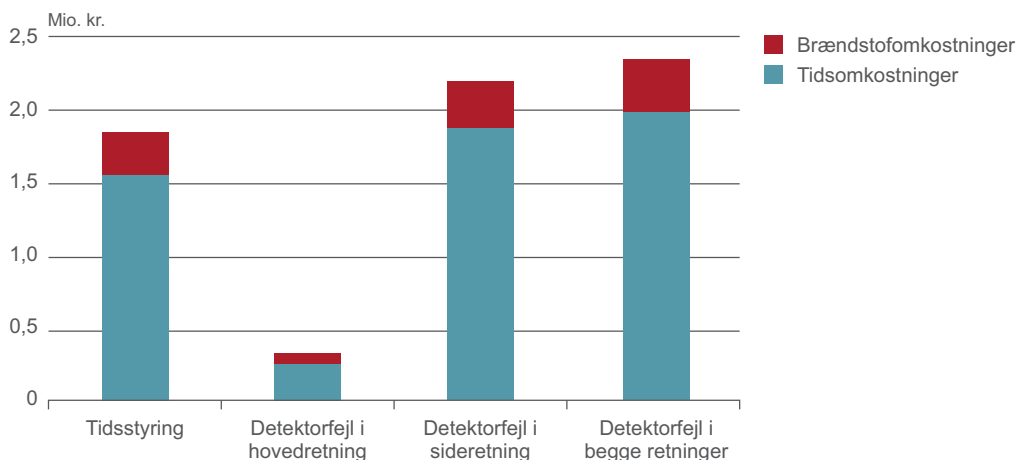
Udgangspunktet for udarbejdelse af modellen har været, at modellen skulle være overskuelig og let at bruge, og det er derfor tilstræbt at undgå for mange til- og fravalgsmuligheder, hvor brugeren skal tage stilling til aktuelle værdier af parametre.

Modellen kan benyttes til at beregne de samfundsøkonomiske konsekvenser af signaltekniske og/eller geometriske ændringer for et enkelt signalreguleret kryds eller for et større net af signalregulerede kryds. Modellen kræver data fra modellering/simulering og er nærmere beskrevet i bilag 3.

Resultaterne for simulering af et uafhængigt styret signalanlæg er benyttet som input til beregning af de samfundsøkonomiske effekter med Teresa-modellen for signalanlæg.

Den samfundsøkonomiske gevinst ved at benytte driftsformen "alt rødt" er cirka 1,8 mio. kr. pr. år i forhold til et tidsstyret signalanlæg. Dette beløb kan ses i forhold til omkostningerne ved etablering af spoler mv., som er i størrelsesordenen 200.000-300.000 kr. Hertil kommer en mindre årlig udgift til drift, vedligehold og overvågning af detektorer. Set ud fra en samfundsøkonomisk betragtning vil udgifterne til etablering af trafikstyring være tjent hjem på 2 måneder.

ÅRLIGE EKSTRAOMKOSTNINGER VED DETEKTORFEJL



FIGUR 14 Samlede årlige ekstraomkostninger i forhold til et alt rødt anlæg for hhv. et tidsstyret signalanlæg og et trafikstyret anlæg med detektorfejl i hovedretning, sideretning og i både hovedretning og sideretning.

Når effekterne vist i figur 12 og figur 13 omsættes til økonomiske termer, viser det sig, at en defekt detektor i hovedretningen og i sideretningen giver ekstra omkostninger på hhv. 1.000 kr. og 6.700 kr. pr. dag inkl. værdien af tidstab. Trafikanternes ekstra udgifter til brændstof beløber sig til hhv. 177 kr. og 1.001 kr. pr. dag. Når effekten ved en defekt detektor i sideretningen er så meget større, skyldes det, at det defekte signalanlæg hele tiden virker ud fra, at der til stadighed ankommer biler i sideretningen. Dette trækker grøntiden for sideretningen op på maksimum i hvert eneste signalomløb. Herved sinkes den langt større trafik i hovedretningen, som herved bliver påtrykt en højere gennemsnitlig forsinkelse.

Med en anslået pris på 5.000 kr. for reparation af en detektor er investeringen således betalt tilbage på bare 5-30 dage alene i brændstofbesparelse. Dette understreger, at det er særdeles vigtigt at opdage og udbedre detektorfejl så hurtigt som muligt, så unødvendige gener og omkostninger for trafikanterne reduceres.

Ved en automatisk registreret detektorfejl i et signalanlæg er den traditionelle tilgang, at signalanlægget benytter fast anmeldelse og grøntidsforlængelse til maksimum, dvs. den pågældende retning får grønt lys i alle omløb uanset om der er trafik eller ej, og grønt lys går op på maksimum. For at minimere generne ved opståede detektorfejl kan signalanlæggets styrefunktion tilrettelægges mere intelligent, så der for hver enkelt detektor under projekteringen tages stilling til, hvorledes signalstyringen skal virke i tilfælde af detektorfejl. Der skal tages stilling til følgende muligheder:

- Fast anmeldelse og forlængelse (traditionelt)
- Fast anmeldelse men ingen forlængelse
- Kun forlængelse

Simuleringer har vist, at trafikafviklingen målt i form af stop, forsinkelse og brændstofforbrug næsten ikke blive påvirket, når der tale om et typisk kryds uden afviklingsproblemer i myldretiderne. Vejdirektoratet har derfor gennemført en omprogrammering af styreapparaterne i samtlige trafikstyrede signalanlæg på statsvejnettet.

6.1.5 Sammenhæng mellem driftsform og forsinkelse

Ovenstående eksempel er udarbejdet med udgangspunkt i virkelige trafikmængder. Da trafikken i krydset er et godt stykke fra kapacitetsgrænsen, er der stor forskel på effekterne af trafikstyring og tidsstyring.

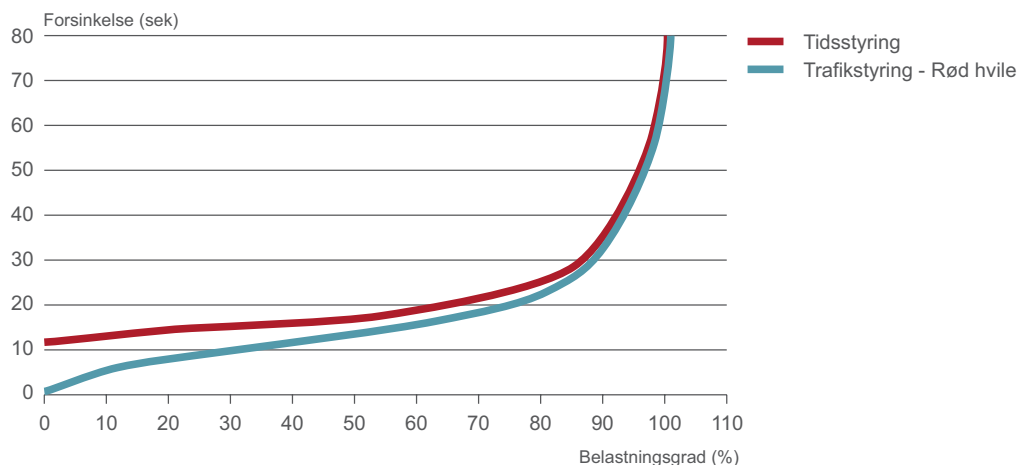
Sammenhængen mellem effekten af driftsformerne og trafikintensiteten er undersøgt ved at udføre simuleringer, hvor der gradvist skrues op for trafikintensiteten op til kapacitetsgrænsen. Trafikken i modellen er valgt, så belastningsgraden er lige høj for alle tilfarter. Svingprocenterne er sat så lave, at den svingende trafik ikke generer afviklingen af den ligeudkørende trafik.

Sammenhængen mellem belastningsgraden og den gennemsnitlige forsinkelse pr. køretøj er vist på figur 15. Forskellen på de to styringsformer bliver mindre jo tættere trafikken er på kapacitetsgrænsen. Fordelene ved trafikstyring er for den enkelte trafikant størst ved meget lave trafikintensiteter, hvor der med trafikstyring stort set ikke er nogen forsinkelser.

6.2 SIGNALREGULERET RUDERANLÆG

I et dobbeltkryds har optimering af signalprogrammet reduceret kølængden i den ene tilfart fra cirka 2 km. til cirka 300 meter uden at trafikken i øvrige tilfarter påvirkes nævneværdigt.

GENNEMSNITLIG FORSINKELSE VED TIDSSTYRING OG TRAFIKSTYRING



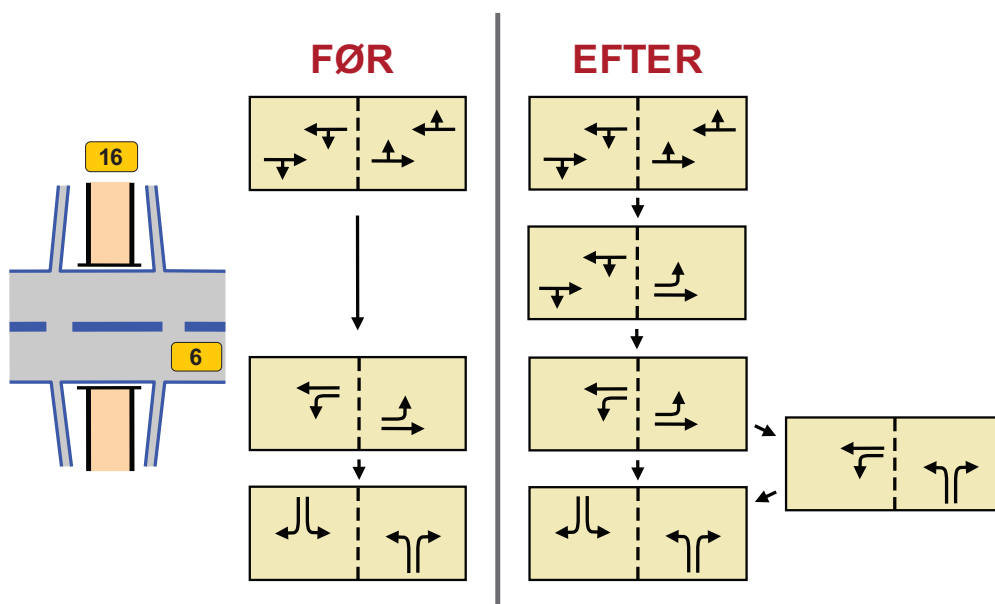
FIGUR 15 Sammenligning af gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj for tidsstyring og trafikstyring med alt rødt som hvilestilling.

I dobbeltkrydset mellem ramperne ved rute 6 og rute 16 syd-vest for Hillerød havde der gennem flere år været stigende kapacitetsproblemer i morgenmyldretiden. Ud over den almindelige trafikstigning var problemerne også fremkaldt af et ændret trafikmønster pga. åbningen af et nyt tilslutningsanlæg på rute 16 vest for Hillerød.

Normalt vil en forøgelse af grøntiderne tilføre krydset mere kapacitet. I dette tilfælde ville øgede grøntider dog medføre, at køen af venstresvingende ville blive så lang, at de to modsatrettede venstresvingsstrømme på rute 6 ville spærre for hinanden. En sakselåsning af dobbeltkrydset ville opstå. Konsekvensen af den eksisterende styring var, at der om morgenen jævnligt var op til 2 km kø for trafikken fra vest. Dette medførte klager fra trafikanter og fra busselskabet.

Forskellige ændringer af trafikstyringen blev analyseret med simulering, og det bedste forslag blev udført. Justeringerne omfattede udelukkende ændringer i den måde, signalstyringen fungerede på. Styredigrammet for den tidligere og den nye signalstyring er vist i figur 16. To venstresvingspile i krydset mod nord og syd var tidligere bundet til at slutte samtidig, men i den nye styring kan den ene pil forlænges uafhængigt af den anden.

Både simuleringerne og den efterfølgende implementering har vist, at denne mindre ændring af styringen forbedrer afviklingen af trafikken i krydset væsentligt. Forsinkelsen og kølængden på rute 6 fra vest er reduceret betydeligt, uden at ventetiden for øvrige trafikstrømme i krydset er blevet høj. For krydset som helhed medfører den ændrede styring



FIGUR 16 Styredigram for signalanlæggene før og efter optimering.

ifølge simuleringerne, at den samlede forsinkelse i krydset samt brændstofforbruget reduceres med hhv. 55 timer og 170 liter pr. morgenspidstimen.

Siden ombygningen har der ikke været klager fra trafikanterne.

Den beregnede forsinkelse med hhv. den tidligere og den nu indførte optimerede signalstyring fordelt på trafikstrømme er vist på figur 17. Simuleringerne viser, at der er tilstrækkelig kapacitet for trafikken på rute 6 fra vest til, at trafikken kan afvikles uden ekstreme forsinkelser. Den gennemsnitlige forsinkelse for trafikken på rute 6 fra øst øges med cirka 15 sekunder. Fra ramperne medfører ændringen en øget ventetid på cirka 5 sekunder.

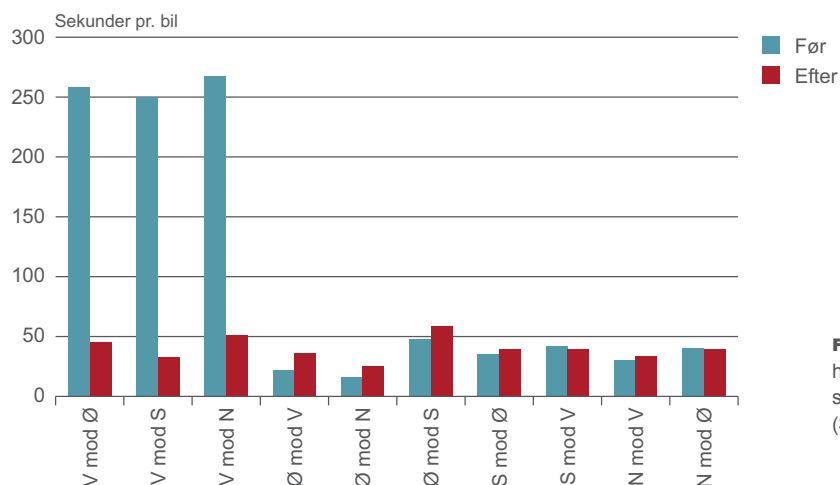
Resultaterne understøttes af de beregnede kølængder, der er vist på figur 18. Kølængden fra vest reduceres kraftigt, og forøgelse af kølængderne for de øvrige retninger vurderes ikke at være kritiske.

Resultaterne fra simuleringerne stemmer godt overens med observationer i krydset udført, efter at den ny signalstyring er indført. I morgenmyldretiden er den maksimale kølængde reduceret fra ca. 1.600 m til ca. 300 m.

Samfundsøkonomiske effekter

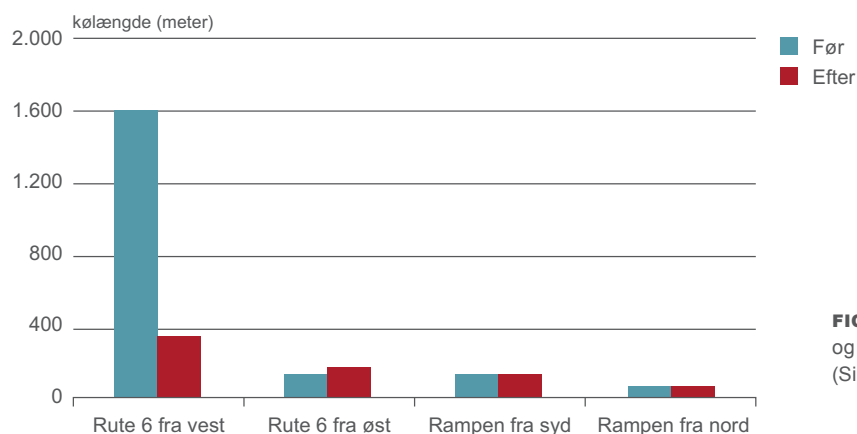
Ovenstående resultater for simulering af et signalreguleret ruderanlæg er benyttet som input til beregning af de samfundsøkonomiske effekter med Teresa-modellen for signalanlæg.

FORSINKELSE I MORGENSPIDSTIMEN



FIGUR 17 Forsinkelse i morgenspidstimen for hver strøm i krydset før og efter optimering af signalprogram. Bogstaverne angiver retning. (Simuleringsresultater).

KØLÆNGDER I MORGENSPIDSTIMEN



FIGUR 18 - Kølængder i morgenspidstimen før og efter indførelse af den ændrede signalstyring. (Simuleringsresultater).

Optimeringen af signalprogrammet i ruderanlægget giver pr. morgenspidstime en reduktion i forsinkelsen på 55 timer og en reduktion i brændstofforbruget på 170 liter. Disse gevinster kan med den samfundsøkonomiske model prissættes til en årlig gevinst på cirka 3,1 mio. kr., idet der regnes med en morgenmyldretid på 2 timer i 200 dage pr. år. Der er ikke indregnet evt. positive effekter af signalændringen i andre dele af døgnet.

De samlede omkostninger til at projektere og etablere den nye signalstyring udgjorde 100.000 kr. inkl. rådgiverhonorar. Værdien af besparelserne kan sammenholdes med omkostningen til etablering af den nye signalstyring. Ud fra en samfundsøkonomisk betragtning vil omkostningerne være tilbagebetalt på 10 morgenmyldretider på hverdage.

6.3 SAMORDNEDE SIGNALANLÆG

I de større byer er signalanlæggene ofte samordnede. Nationale og internationale erfaringer viser, at optimering af samordningerne typisk medfører store gevinster for trafikkanterne i form af sparet tid og brændstof. For at eftervise dette er udvalgt to samordnede strækninger for analyse af potentielle effekter af optimering.

Det første eksempel er en samordnet strækning uden nogen form for trafikstyring med en årsdøgntrafik på 30-40.000 biler. Denne strækning er valgt, da det på forhånd er vurderet, at der er potentiale for forbedringer på denne strækning.

Det andet eksempel er en samordnet strækning med sidevejstrafikstyring med en årsdøgntrafik på 10-20.000 biler. Samordningen er blevet opdateret for få år siden.

6.3.1 Samordnede signalanlæg uden trafikstyring

Optimering af samordningen på den valgte strækning giver en reduktion i forsinkelsen på 26 % i morgenmyldretiden og 12 % i dagtimerne.

Som case for simulering af en strækning med samordnede signaler uden trafikstyring er valgt strækningen Folehaven-Ellebjergvej-P. Knudsens Gade i København. Strækningen er Holbækmotorvejens videreførelse mod Københavns centrum.

Hele strækningen er 4-sporet. Mod øst afsluttes strækningen i krydset P. Knudsens Gade/Enghavevej, der i sig selv udgør en betydelig flaskehals. Da dette signalanlæg styres sammen med øvrige signalanlæg på Sydhavnsgade i det adaptive signalsystem SPOT, vil det være forholdsvis ressourcekrævende at tage dette kryds med i simuleringsmodellen. Konsekvensen af at krydset ikke er med i modellen er, at der i analysen ikke tages højde for at køen fra krydset P. Knudsens Gade /Enghavevej under spidsbelastninger

kan stuve tilbage til øvrige kryds på P. Knudsens Gade og Ellebjergvej.

Analysen i nærværende notat omfatter følgende 11 signalregulerede kryds:

- Holbækmotorvejen/Sønderkær
- Folehaven/Vigerslevvej
- Folehaven/Nøddehaven
- Folehaven/Hestehaven
- Folehaven/Retortvej
- Folehaven/Gl. Køge Landevej
- Ellebjergvej/Valby Idrætspark
- Ellebjergvej/Spontinisvej
- Ellebjergvej/Stubmøllevej
- Ellebjergvej/Borgmester Christiansens Gade
- P. Knudsen Gade/Gustav Bangs Gade

Den skilte hastighed på strækningen er 60 km/t vest for krydset Ellebjergvej/Borgmester Christiansens Gade. Øst for dette kryds er hastigheden 50 km/t.

Der er opstillet en model af trafikafviklingen i morgenmyldretiden og i dagtimerne.

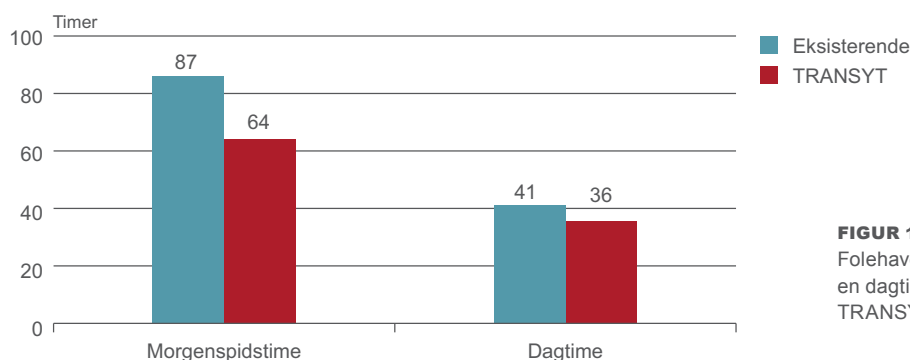
For at optimere samordningen på strækningen Folehaven-Ellebjergvej-P. Knudsens Gade er anvendt signaloptimeringsprogrammet TRANSYT. Indledningsvist er således opstillet en TRANSYT-model af strækningen. I TRANSYT er samordningen udelukkende optimeret ved at ændre på forskydningen (offsettiderne) mellem krydsene. Grøntidsfordelingen i de enkelte signalanlæg er uforandret. I en del kryds på strækningen er det minimumgrøntiden for fodgængere, der er bestemmende for grøntiden i sideretningen. I disse kryds vil det ikke være muligt at optimere grøntidsfordelingen.

Den TRANSYT-optimerede samordning er efterfølgende simuleret i VISSIM, idet det er vurderet, at VISSIM giver mere troværdige beregninger af effekten af en optimering af samordningen end den noget grovere TRANSYT-model.

Følgende situationer er simuleret i VISSIM:

- **Eksisterende** samordning, morgenprogram med 80 sek. omløbstid
- **TRANSYT-optimeret** samordning, morgenprogram med 80 sek. omløbstid
- **Eksisterende** samordning, dagprogram med 60 sek. omløbstid
- **TRANSYT-optimeret** samordning, dagprogram med 60 sek. omløbstid.

FORSINKELSE

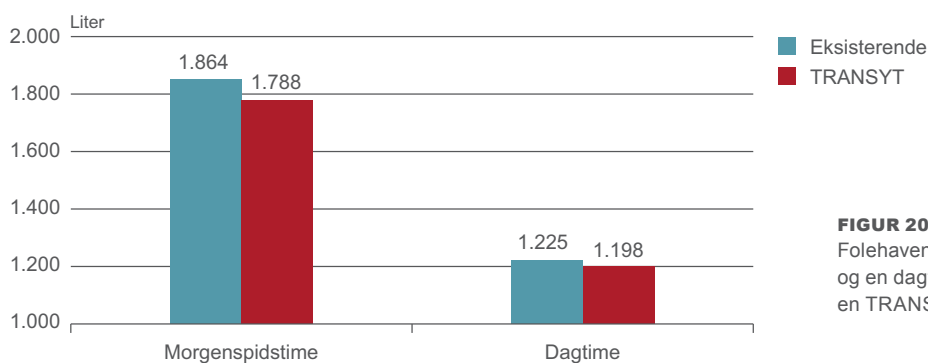


FIGUR 19 Samlet beregnet forsinkelse (timer) på Folehaven/Ellebjergrvej i en morgenspidstimer og en dagtime for den eksisterende samordning og en TRANSYT-optimeret samordning.

Den samlede forsinkelse for morgenmyldretiden og dagtimerne er vist i figur 19. I morgenmyldretiden viser modelberegningerne, at der kan opnås en reduktion i forsinkelsen på hele 23 timer pr. time, hvilket svarer til en reduktion på 26 %. I dagtimerne er reduktionen i forsinkelsen på 5 timer pr. time, hvilket svarer til en reduktion på 12 %.

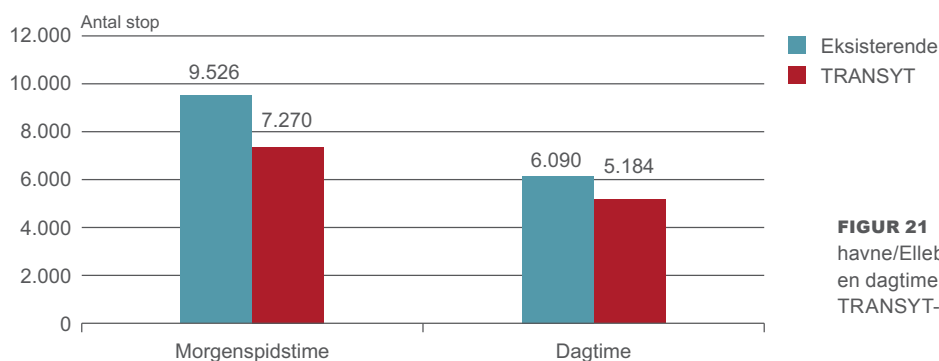
Det samlede beregnede brændstofforbrug er sammenlignet i figur 20. Reduktionen i brændstofforbrug for de optimerede løsninger er 76 liter pr. morgenmyldretidstimer og 27 liter pr. dagtime. Der er ikke gennemført en analyse af de mulige effekter for eftermiddagsmyldretiden og for nattetimerne.

BRÆNDSTOFFORBRUG



FIGUR 20 Samlet beregnet brændstofforbrug på Folehaven/Ellebjergrvej i en morgenmyldretidstimer og en dagtime for den eksisterende samordning og en TRANSYT-optimeret samordning.

ANTAL STOP



FIGUR 21 Samlet beregnet antal stop på Folehaven/Ellebjergrvej i en morgenmyldretidstimer og en dagtime for den eksisterende samordning og en TRANSYT-optimeret samordning.

Antal stop pr. time er sammenlignet i figur 21. Den relative reduktion i antallet af stop er i samme størrelsesorden som reduktionen i forsinkelse.

Samfundsøkonomiske effekter

Ovenstående resultater for simulering af en strækning med tidsstyrede samordnede signalanlæg er benyttet som input til beregning af de samfundsøkonomiske effekter med Teresa-modellen for signalanlæg.

Der synes således at være mulighed for en betydelig besparelse for trafikanterne, hvis samordningen justeres. Ændringerne omfatter udelukkende den måde, hvorpå grøntiderne i hovedretningen i de enkelte kryds skifter i forhold til hinanden (offset-tiderne). Denne optimering ændrer ingenting for trafik i tværretningen herunder krydsende fodgængere. For cyklister på langs ad samordningen vurderes det, at der overordnet heller ikke vil være nogen effekt. I visse kryds bliver fremkommeligheden bedre, mens den kan forværres i andre. Justeringen kan foretages fra en

overvågningscentral for signalanlæggene og kræver derfor ikke ændring af signalprogrammerne i de enkelte kryds.

I det følgende er de samlede effekter søgt opgjort. I beregningen er forudsat, at morgenmyldretiden varer 2 timer, og trafiksituationen i dagtimerne varer 10 timer. Der er ikke inkluderet en eventuel effekt af at optimere samordningen også i eftermiddagsmyldretiden. I beregningen af nutidsværdien er forudsat en tidshorisont på 5 år. Der er anvendt trafikøkonomiske enhedspriser for 2008.

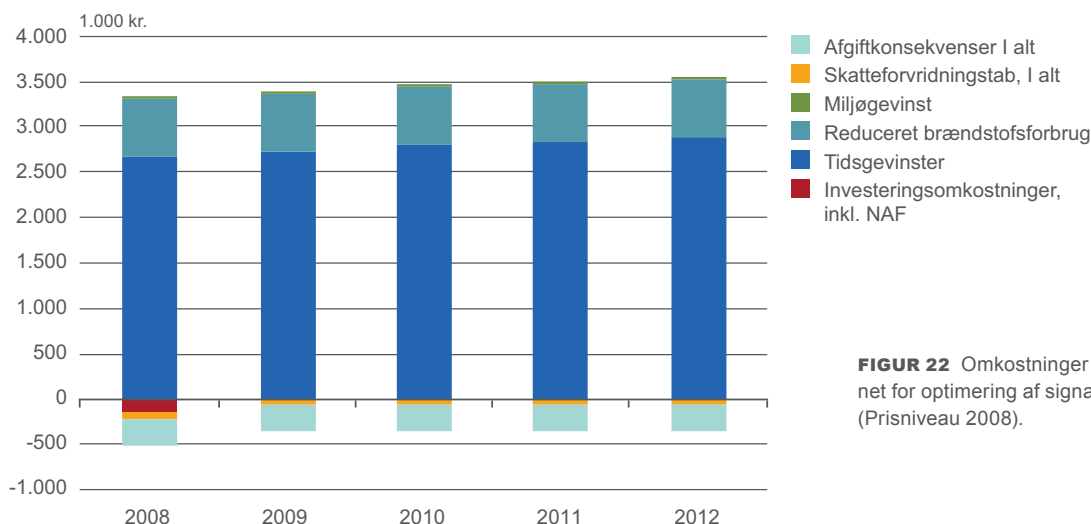
I investeringsomkostningerne er indregnet omprogrammering af styreapparater (som kommunen selv kan udføre, da det udelukkende er offset-tider, der skal ændres) og rådgiverudgifter til optimering i TRANSYT og analyser i VISSIM.

Hovedresultater er vist i tabel 1. Beregningerne viser at investeringen i optimering af signalkæden er tilbagebetalt på mindre end 10 hverdage.

Nutidsværdi af investering	kr.	13.547.899
Investeringsomkostning	kr.	140.400
Gevinst per dag med pågældende trafik	kr.	14.715
Tilbagebetalingstid (antal hverdage med pågældende trafik)		10

TABEL 1 Hovedresultater af samfundsøkonomisk beregning af optimering af signalstyringen på Folehaven (Prisniveau 2008)

OMKOSTNINGER OG GEVINSTER



FIGUR 22 Omkostninger og gevinster sammenlignet for optimering af signalstyringen på Folehaven (Prisniveau 2008).

Investering og omkostninger er sammenlignet i figur 22. Som det fremgår af figuren, er alene værdien af besparelsen i brændstof langt større end investeringen i optimeringen.

Den pågældende signalsamordning har været tema for et afgangprojekt ved DTU (Hedelund og Tønnesen, 2009). Analyserne i afgangprojektet var baseret både på simuleringer og analyser af data indsamlet ved gennemkørsler af køretøjer udstyret med GPS. I projektet nåede man frem til, at for morgenmyldretiden kunne optimering af signalanlæggene reducere trafikanternes samlede forsinkelse og antal stop med hhv. 28 og 25 %. Brændstofforbruget kunne reduceres med 5 %. For øvrige perioder af døgnet var forbedringspotentialet noget mindre. Resultaterne bekræfter derfor det store potentiale for besparelser, som optimering af den pågældende signalkæde kan give anledning til.

Afgangprojektet omfattede også en undersøgelse af nogle samordninger i Vanløse. I morgenmyldretiden og i dagtimerne kunne der samlet set opnås en reduktion i forsinkelse og antal stop på 10 % og op til 40 %, når man betragtede effekterne for trafikken på hovedstrækningerne.

6.3.2 Samordnede signalanlæg med sidevejstrafikstyring

Som case for simulering af en samordnet strækning med sidevejstrafikstyring er valgt Silkeborg Ringvej. Krydsene på Ringvejen bestyres af Vejdirektoratet.

Med sidevejstrafikstyring har alle anlæggene i samordningen den samme faste omløbstid. Trafikken i sideretningen har mulighed for at forlænge grøntiden efter behov. I tilfælde af at sideretningen ikke forlænger grøntiden, vil den overskydende grøntid blive tildelt hovedretningen, Nordre Ringvej, hvor trafikanterne efterfølgende får en tidligere start og en længere grøntid.

Simuleringerne viser, at sidevejstrafikstyringen reducerer forsinkelsen med 5 % i eftermiddagsmyldretiden. Optimering af samordningen på den valgte strækning giver en yderligere reduktion i forsinkelsen på 3 %.

Silkeborg Ringvej er en tosporet vej. I dag er der motorvej på begge sider af Silkeborg mod henholdsvis Herning og Århus. Silkeborg Ringvej udgør således en flaskehals for trafikken mellem Herning og Århus.

Analysen omfatter strækningen fra Søndre Ringvej til Oslovej, hvor der er følgende 7 signalregulerede kryds:

- Nordre Ringvej/Søndre Ringvej
- Nordre Ringvej/Nylandsvej
- Nordre Ringvej/Nørrevænget vest
- Nordre Ringvej/Nørrevænget øst
- Nordre Ringvej/Kejlstrupvej
- Nordre Ringvej/Ansvej
- Nordre Ringvej/Oslovej

Samordningen i den eksisterende samordning er i myldretiderne udarbejdet efter en dimensioneringshastighed på 55 km/t (selvom den skilte hastighed er 70 km/t). I TRANSYT-beregningerne er regnet med en dimensioneringshastighed på 65 km/t.

I 2006 udarbejdede Vejdirektoratet rapporten: "Rute 15 gennem Silkeborg - Forbedring af fremkommeligheden på den eksisterende hovedlandevej". Data om trafikafviklingen indsamlet til analysen i denne rapport har kunnet anvendes direkte som udgangspunkt for simuleringer af trafikafviklingen på strækningen.



Indledningsvist er opstillet en TRANSYT-model af Silkeborg Ringvej. For at tage højde for sidevejstrafikstyringen, samt for at verificere TRANSYT-beregningerne, er forslaget til samordning efterfølgende simuleret i VISSIM.

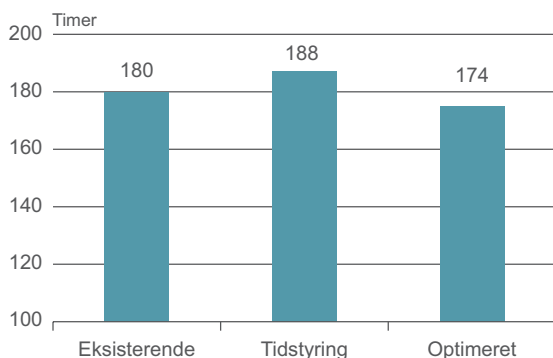
Resultater af følgende VISSIM-scenarier er præsenteret her:

- **Eksisterende** samordning 70 sek. omløbstid
- **Tidsstyret** samordning 70 sek. omløbstid
For at beregne effekten af sidevejstrafikstyringen er udført en simulering uden trafikstyring. TRANSYT-optimerede offset-tider og grøntidsfordeling er anvendt.
- **Optimeret** samordning med TRANSYT 80 sek. omløbstid
Omløbstiden er øget til 80 sekunder i alle kryds. Som udgangspunkt er den ekstra grøntid tildelt Ringvejen.

Den samlede forsinkelse for modellerne er vist i figur 23. I den eksisterende samordning er den samlede forsinkelse 180 timer pr. eftermiddagsmyldretid (kl. 15.00 - 17.00). Forsinkelsen er 8 timer større (= forøgelse på 5 %) i modelberegningen, hvor signalerne udelukkende fungerer tidsstyrede. Sidevejstrafikstyringen har således en betydelig effekt på trafikafviklingen.

Med den TRANSYT-optimerede samordning med 80 sekunders omløbstid er forsinkelsen reduceret med 6 timer

FORSINKELSE I EN EFTERMIDDAGSMYLDRETID



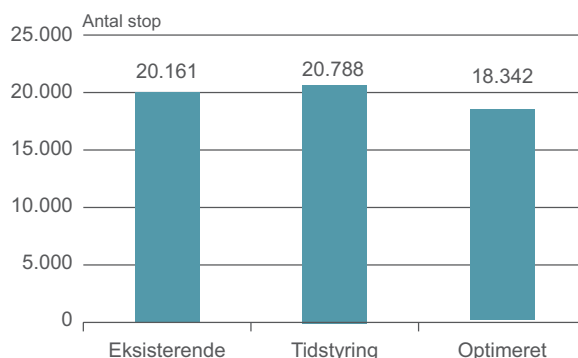
FIGUR 23 Samlet forsinkelse for en eftermiddagsmyldretid (kl. 15.00 - 17.00) for alternative udformninger af samordningen på ringvejen omkring Silkeborg.

(= reduktion på 3 %) i forhold til den eksisterende samordning.

Samlet antal stop og brændstofforbrug for hver af de tre styreformers er sammenlignet i figur 24 og figur 25.

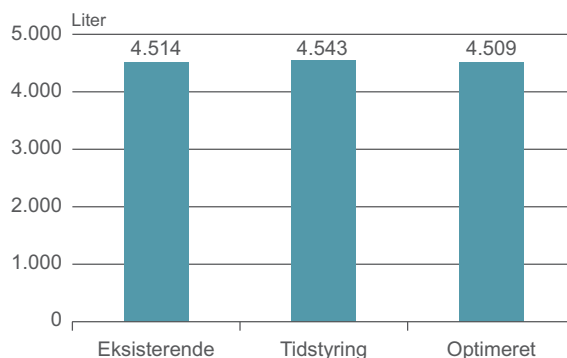
For at undersøge muligheden for forbedringer af trafikafviklingen på strækningen er der udført en række supplerende analyser af alternative forslag til udformningen af samordningen.

ANTAL STOP I EN EFTERMIDDAGSMYLDRETID



FIGUR 24 Samlet antal stop for en eftermiddagsmyldretid (kl. 15.00 - 17.00) for alternative udformninger af samordningen på ringvejen omkring Silkeborg.

BRÆNDSTOFFORBRUG I EN EFTERMIDDAGSMYLDRETID



FIGUR 25 Samlet brændstofforbrug for en eftermiddagsmyldretid (kl. 15.00 - 17.00) for alternative udformninger af samordningen på ringvejen omkring Silkeborg.

De tre undersøgte alternativer er:

- A. 90 sek. omløbstid på Ringvejen: Den øgede omløbstid giver samlet set en øget forsinkelse. Blandt andet fordi der som følge af den øgede omløbstid opstår problemer med at afvikle de venstresvingende i nogle af krydsene.
- B. Fri trafikstyring af krydsene ved Ansvej og Oslovej: Simuleringer viser at fordelene ved fri trafikstyring af krydsene er mindre end fordelene ved samordning (selvom afstanden mellem Ansvej og nabokrydset Kejlstrupvej er forholdsvis stor, cirka 900 meter).
- C. Ændret faserækkefølge i krydset ved Ansvej: Det er forsøgt at forbedre samordningen ved at forskyde afviklingen af de separatregulerede venstresving (så det ene ligger før hovedretningen og det andet ligger efter hovedretningen). Simuleringer viser, at denne styring ikke er nogen fordel.

Da disse analyser alle viste dårligere trafikafvikling end den eksisterende styring, er det valgt ikke at præsentere resultaterne fra disse analyser i ovenstående diagrammer.

Selv om afstanden mellem 2 kryds er helt op til 900 meter, viser eksemplet, at samordning alligevel medfører en lavere forsinkelse end fri trafikstyring.

Samfundsøkonomiske effekter

Ovenstående resultater for simulering af en strækning med samordnede signalanlæg med sidesvejstrafikstyring er benyttet som input til beregning af de samfundsøkonomiske effekter med Teresa-modellen for signalanlæg (se afsnit 4.3).

I investeringsomkostningerne er indregnet omprogrammering af styreapparater, udarbejdelse af nye signalgruppeplaner og udgifter til optimering ved brug af TRANSYT samt analyser i VISSIM.

Hovedresultater er vist i tabel 2. Beregningerne viser at investeringen i optimeringen er tilbagebetalt efter 330 hverdage (eftermiddagsmyldretider). Eventuelle gevinster ved at optimere samordningen udenfor eftermiddagsmyldretiden er ikke taget med i den samfundsøkonomiske beregning.

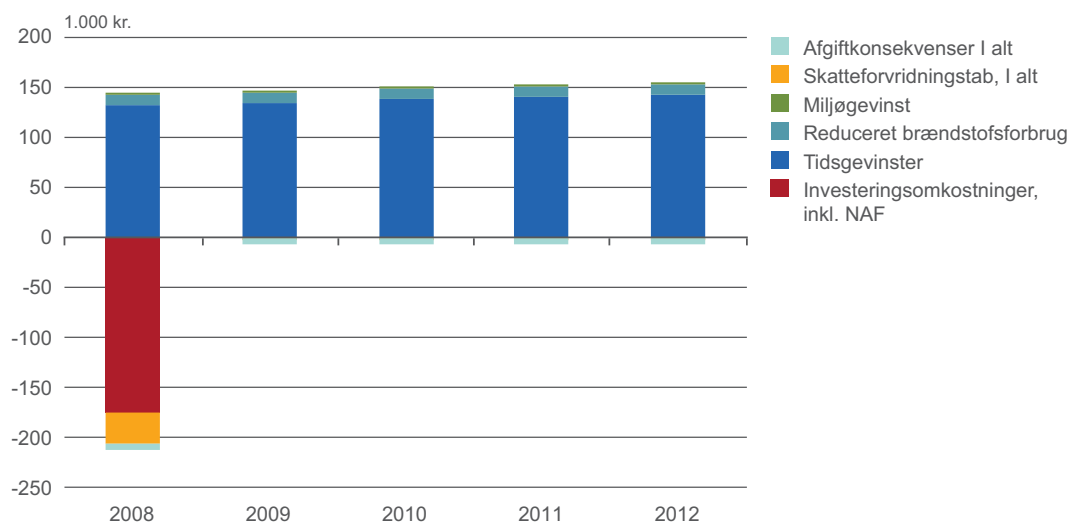
I forhold til andre samfundsøkonomiske beregninger af gevinster ved signaloptimeringer er knapt to års tilbagebetalingstid ikke imponerende. Det er forudsat, at der trafikmæssigt set er 200 typiske hverdage pr. år. En årsag er måske, at samordningen på ringvejen omkring Silkeborg er blevet opdateret for få år siden. Hvis der sammenlignes med andre infrastrukturprojekter er 2 års tilbagebetalingstid dog stadig en fornuftig investering.



Nutidsværdi af investering	kr.	427.062
Investeringsomkostning	kr.	175.500
Gevinst pr. dag med pågældende trafik	kr.	533
Tilbagebetalingstid (antal hverdage med pågældende trafik)		330

TABEL 2 Hovedresultater af samfundsøkonomisk beregning af optimering af signalstyringen på Ringvejen i Silkeborg i eftermiddagsmyldretiden kl. 15-17. (Prisniveau 2008)

OMKOSTNINGER OG GEVINSTER



FIGUR 26 Omkostninger og gevinster sammenlignet for optimering af signalstyringen på Ringvejen i Silkeborg (Prisniveau 2008).



6.4 SAMMENFATNING AF SIMULERINGER

I dette afsnit er præsenteret resultaterne for simuleringer af et kryds med en hverdagsdøgntrafik på 15.000. Der er simuleret forskellige styreformer spændende fra fuld trafikstyring med alt rødt som hvilestilling, præference i hovedretningen som hvilestilling og en styreform, hvor signalerne skifter efter et fast mønster (tidsstyring). Endvidere er simuleret to samordninger før og efter optimering samt forskellige former for detektorfejl i et trafikstyret signalanlæg.

For et fritliggende ikke-samordnet signalanlæg med en hverdagsdøgntrafik på 15.000 kan overgang fra tidsstyring til trafikstyring spare trafikanterne for i alt 1,9 mio. kr. pr. år, hvoraf brændstofbesparelsen udgør ca. 15%, svarende til ca. 275.000 kr.

Når detektorer er defekte, får trafikanterne ulemper i form af spildt tid og omkostninger til ekstra brændstof pga. flere stop og længere ventetid for rødt. Også vedligehold af fejlramte detektorer viser sig at have en meget stor rentabilitet. Omkostningerne til reparation af en detektor anslås til 5.000 kr., hvorimod fordelene for trafikanterne i et kryds med 15.000

biler pr. hverdagsdøgn alene i brændstofbesparelser kan løbe op i 1.000 kr. pr. dag afhængig af detektorens placering og funktion i signalanlægget. Er detektoren defekt i en måned, udgør trafikanternes ekstraomkostning til brændstof 25.000-30.000 kr.

Optimering af signalsamordninger med henblik på at skabe den bedst mulige grønne bølge for trafikanterne er måske én af de mest lønsomme metoder til forbedring af fremkommeligheden i byerne. De gennemførte simuleringer bekræfter litteraturstudierne i, at den samfundsmæssige investering til optimeringen er tilbagebetalt i løbet af meget kort tid. I eksemplet fra København og Silkeborg er investeringen tilbagebetalt i løbet af hhv. 10 og 330 dage. Kvaliteten af samordningen på Ringvejen omkring Silkeborg er således at være stor.

Simuleringerne af et overbelastet dobbeltanlæg mellem rute 6 og rute 16 ved Hillerød viste, at alene en ændring af signalstyringen har medført så store forbedringer i trafikafviklingen, at investeringen på kr. 100.000 er tilbagebetalt i løbet af 10 dage.



7. POTENTIALE FOR FORBEDRINGER

Med udgangspunkt i den indsamlede information om signalanlæggene i Danmark fra spørgeskemaundersøgelsen (afsnit 4.1) samt internationale og nationale erfaringer med optimering af signalanlæg er i dette afsnit gennemført et overslag over forbedringspotentialer i danske signalanlæg med hensyn til forbedret fremkommelighed og brændstofforbrug.

Usikkerheden på denne beregning er stor, idet information om alle signalanlæg i Danmark ikke er let tilgængelig. På grund af denne usikkerhed på beregningen er valgt en konservativ vurdering af potentielle effekter af optimering.

Opgørelsen af det samlede potentiale for reduktion af forsinkelse og brændstof i signalregulerede kryds i Danmark er vist i Tabel 3. Værdien af tids- og brændstofbesparelserne er beregnet ud fra Transportministeriets trafikøkonomiske enhedspriser fra 2010.

Opgørelsen er baseret på, at

- samordnede signaler optimeres
- reparation af detektorer i trafikstyrede kryds under overvågning sker hurtigere
- ikke overvågede kryds bringes under overvågning
- fritliggende, tidsstyrede anlæg ombygges til trafikstyring

For de samordnede signalanlæg er forudsat, at der med en optimering i gennemsnit kan opnås en reduktion i forsinkelsen på 5-10 % og en reduktion i benzinforbruget på 3 %. Erfaringerne viser, at der ofte kan opnås endnu større reduktioner.

For de fritliggende trafikstyrede signalanlæg er ud fra det indsamlede erfaringsmateriale forudsat, at der i gennemsnit er spolefejl i 15 % af de overvågede signalanlæg og 25 % af de ikke overvågede signalanlæg. Hvis alle signalanlæg overvåges, og hvis tiden for reparation afkortes for fejlramte spoler, vurderes det, at andelen af signalanlæg med en funktionsmæssig defekt kan nedbringes til 5 %.

For de fritliggende, tidsstyrede signalanlæg er forudsat, at alle signalanlæg trafikstyres.

Beregningen af det samlede potentiale tager udgangspunkt i litteraturstudiet samt gennemførte simuleringer og resultater fra signaloptimeringer i Danmark.

På figur 27 er potentialer illustreret inden for hver af de fire signaltyper: 1) Samordnede signalanlæg 2) uafhængige trafikstyrede anlæg under overvågning 3) uafhængige trafikstyrede anlæg uden overvågning samt 4) uafhængige, tidsstyrede anlæg.

Ud fra de angivne forudsætninger udgør det årlige potentiale for besparelser alt i alt 7 mio. køretøjstimer og mindst

	Samordnede signalanlæg	Ikke samordnede signalanlæg			Total
		Trafikstyrede, overvågede	Trafikstyrede, ikke overvågede	Tidsstyrede	
Antal signalanlæg	1.347	745	477	234	2.803
Potentiale for reduktion i forsinkelse pr. kryds pr. døgn (timer)	10,4	1,5	3,0	11,6	6,9
Potentiale for reduktion i forsinkelse pr. anlægstype pr. år (mio. timer)	5,1	0,4	0,5	1,0	7,0
Potentiale for reduktion i brændstofforbrug pr. kryds (liter pr. døgn)	20,0	5,7	11,4	38,0	16,2
Potentiale for reduktion i brændstofforbrug pr. anlægstype pr. år (mio. liter)	9,8	1,5	2,0	3,2	16,6
Tid Samfundsøkonomisk besparelse (mio. kr.)	830	65	83	161	1.139
Brændstof Samfundsøkonomisk besparelse (mio. kr.)	103	16	21	34	174
Tid og brændstof Samfundsøkonomisk besparelse i alt (mio. kr.)	933	81	104	195	1.313

TABEL 3 Potentiale for årlig reduktion af forsinkelse og brændstofforbrug fordelt på typer af signalanlæg.

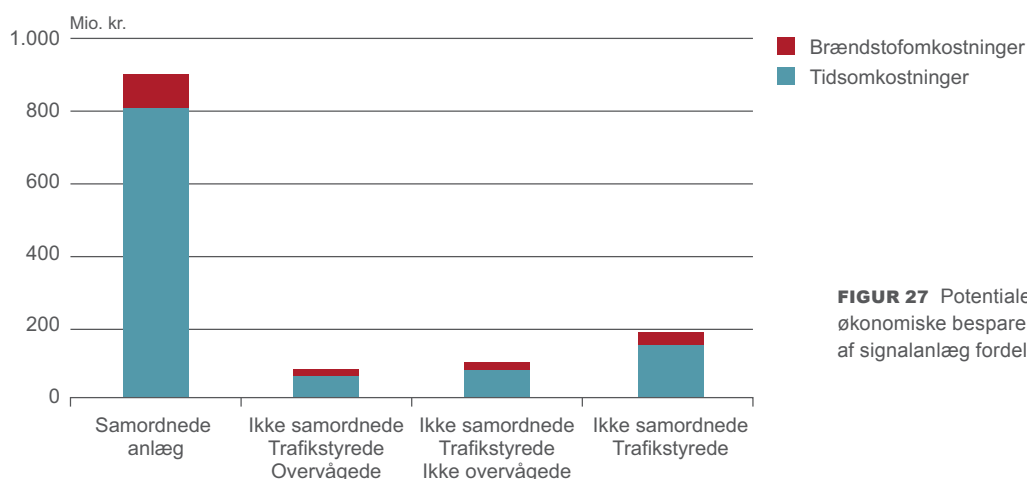
16 mio. liter brændstof. Brændstoffbesparelsen udgør mindst 0,3 % af det nationale forbrug til transportsektoren. Omregnet til samfundsøkonomiske besparelser er potentialet mindst 1,3 mia. kr., hvoraf 174 mio. kr. er den mulige brændstoffbesparelse.

Der synes især at være et stort uudnyttet potentiale i forbedringer af signalsamordninger. Fordelene for trafikanterne i form af værdien af sparet tid og brændstof skønnes at være mindst 900 mio. kr. årligt, heraf 100 mio. i brændstoffbespa-

relser. Dette skal holdes op mod omkostninger til optimering og justering af samordninger på bare 30.000 kr. pr. signalanlæg eller ca. 40 mio. kr. i alt for alle landets samordnede signalanlæg. En optimering af alle signalsamordninger hvert 4. år svarer således til en årlig investering på 10 mio. kr., der skal holdes op mod den samfundsmæssige besparelse på 900 mio. kr.

Alene brændstoffbesparelsen vil det første år kunne tjene investeringen hjem 2,5 gange.

POTENTIALET FOR SAMFUNDSØKONOMISKE BESPARELSER



FIGUR 27 Potentialet for samfundsøkonomiske besparelser ved forbedring af signalanlæg fordelt på type.

8. HVAD KAN VEJBESTYRELSEN GØRE?

8.1 VEJBESTYRELSENS OPGAVE

Det er vejbestyrelsens ansvar, at signalanlæg til enhver tid yder trafikanterne den størst mulige sikkerhed og fremkommelighed. Mange forvaltninger har erfaringsmæssigt kun et begrænset kendskab til funktionen af deres trafiksignaler. Dette kan skyldes, at den ansvarlige person ikke har tilstrækkelige faglige kompetencer inden for fagområdet, eller at forvaltningen generelt er underbemandet.

Manglende indsigt i eller interesse for signalanlæg kan skyldes, at den daglige drift i mange forvaltninger er overladt til andre, f.eks. den lokale el-forsyning eller en lokal el-installør, der sørger for det mest nødtørftige vedligehold.

Kun et fåtal forvaltninger har en strategi for, hvordan signalanlæggene skal styres. Der er måske heller ikke formuleret mål for den systemtekniske eller trafiktekniske vedligeholdelsesstandard. I denne situation vil der med meget stor sandsynlighed kun ske ændringer i signalanlæggene i tilfælde af større ombygninger, typisk begrundet i trafikikkerhedsmæssige ombygninger i et eller flere kryds eller i større ændringer i trafikmønstret, som f.eks. ved etablering af nye butikcentre og vejomlægninger. Ændringer kan også ske på baggrund af konkrete klager fra borgere over lange køer eller for korte grøntider for fodgængere.

Et signalanlæg skal først og fremmest ses som en foranstaltning til fremme af trafikikkerhed og fremkommelighed. Disse formål er ikke opfyldt én gang for alle ved signalanlæggets etablering. Tværtimod kræver det en høj grad af systemteknisk og trafikteknisk vedligehold for til stadighed at kunne opretholde en høj standard for trafikikkerheden og fremkommeligheden. Det er derfor vigtigt, at vejbestyrelsen drager omsorg for, at anlæggene med passende mellemrum kontrolleres og tilpasses ændrede trafikforhold.

Med henblik på forbedring af fremkommeligheden i signalanlæg findes en bred vifte af tiltag, som vejbestyrelsen kan tage i brug eller benytte på mere systematisk vis. Det er en forudsætning for varetagelse af denne opgave, at der er medarbejdere i forvaltningen, som besidder den nødvendige

kompetence inden for både trafik- og signalteknik, og at der afsættes de fornødne ressourcer hertil.

Gevinsten er reduktion af antal uheld, reduktion af trængslen samt reduktion af trafikanternes brændstofforbrug og køretøjernes emission af forurenende stoffer herunder CO₂.

8.2 SYSTEMTEKNISK DRIFT

Den systemtekniske drift omfatter teknisk drift og forebyggende vedligehold af komponenter, kommunikationslinier, hardware og software. Driften sigter på at holde signalanlægget eller signalsystemet i en sådan stand, at signalanlæggene over for trafikanterne fremstår i en trafikikker og funktionsdygtig tilstand.

I det følgende nævnes nogle forhold til fremme af den systemtekniske drift.

8.2.1 Fjernovervågning med regelmæssig bemanding

40 % af alle signalanlæg i Danmark er ifølge Vejdirektoratets undersøgelse (se afsnit 4.1) helt uden overvågning. Dette medfører, at et signalanlæg i perioder med fejl opererer med nedsat funktionalitet i en kortere eller længere periode til stor skade for både trafikikkerhed og fremkommelighed. Ofte bliver sådanne fejl kun opdaget ved tilfældigheder.

Etablering af et fjernovervågningssystem, hvor fejl automatisk bliver indberettet til forvaltningen eller vedligeholdere af signalanlæggene, kan reducere perioden med nedsat funktionalitet ganske betragteligt.

Et fjernovervågningssystem er imidlertid ikke altid tilstrækkeligt til at opdage fejl i signalanlæg. Der skal også være afsat personaleressourcer til varetagelse af denne opgave. Undertiden ses overvågningssystemer, der kun betjenes lejlighedsvis. Dermed kan der gå lang tid, før fejl i signalanlæg bliver opdaget og udbedret. Ideelt set bør et overvågningssystem betjenes hver dag. Som minimum dog mindst én gang om ugen.

8.2.2 Hurtig reparation af detektorer

Selv om en detektorfejl i et anlæg er registreret, skal fejlen også udbedres. Erfaringsmæssigt tager dette ofte lang tid. Hurtig opdagelse og udbedring af detektorfejl medvirker til optimal styring og afvikling af trafikken, og kan dermed spare trafikanterne for ventetid og brændstof.

8.2.3 Regelmæssige hovedeftersyn

Meget få forvaltninger udfører regelmæssige hovedeftersyn af deres signalanlæg. Ved et hovedeftersyn gennemgås signalanlæggets og styreapparatets tekniske dele, og tilløb til alvorlige fejl kan afsløres i tide.

8.2.4 Opdateret signalarkiv

Et signalarkiv indeholder al tilgængelig dokumentation vedrørende et signalanlæg. Dokumentationen kan f.eks. omfatte signalgruppeplaner, oversigtsplan, detektorplaceringsplan, detektorfunktionsskema, ledningsplan, mellem-tidsmatrix og funktionsbeskrivelse.

Manglende eller forældet signaldokumentation vanskeliggør eller umuliggør forvaltningens daglige system- og trafiktekniske vedligehold af signalanlæg. Signaldokumentation bør som minimum opbevares hos forvaltningen, hos den daglige vedligeholder og i styreapparatet. Ændringer udført i signalanlægget skal derfor registreres tre steder.

Alternativt kan man arbejde med et web-baseret signalarkiv, hvor hver enkelt part selv kan indlægge nye oplysninger eller trække de seneste oplysninger om et signalanlæg.

8.3 TRAFIKTEKNISK DRIFT

Ved den trafiktekniske drift foretages optimering af signalanlæggenes funktion på baggrund af kapacitets- og beregningsmodeller og indsamlede data vedr. trafikens omfang og sammensætning.

I det følgende gennemgås nogle af elementerne i den trafiktekniske drift.

8.3.1 Trafikmæssigt tilsyn

Trafikken ændrer sig løbende. Derfor er det nødvendigt med passende mellemrum at sikre sig, at der ikke er fremkomme-lighedsproblemer. Dette kan f.eks. gøres ved inspektion i krydsene i det mindste i en periode om morgenen og om eftermiddagen, hvor trafikbelastningen normalt er størst.

I praksis er det imidlertid ofte klager fra trafikanter, der gør, at uhensigtsmæssigheder ved den gældende trafikstyring bliver opdaget. Sådanne klager vil være usystematiske, og man kan ikke være sikker på, at der sættes ind dér, hvor problemet er størst.

Hvis forvaltningen ikke har egne ressourcer til trafikmæssigt tilsyn, findes der rådgivere og signalleverandører, som tilbyder trafikteknisk eftersyn af signalanlæg. Et sådant trafikteknisk eftersyn omfatter kortvarige besigtigelser af trafikafviklingen i signalanlægget med forslag til, hvilke justeringer, der vil kunne forbedre trafikafviklingen.

8.3.2 Signalsamordninger

Opdatering af samordning

De største trafikantfordele kan opnås ved at sikre, at samordninger hele tiden fungerer optimalt. Indstillingerne bør granskes hvert 3.-5. år afhængig af, hvor meget trafikmængderne og trafikmønstret har ændret sig i området eller på strækningen. Justeringen af en samordning kan gennemføres ud fra manuelle metoder eller f.eks. med brug af optimeringsprogrammet TRANSYT, der samtidig producerer et kvantitativt mål for, hvor meget samordningen kan forbedres.

Tidspunkt for nyt signalprogram

Skift mellem forskellige samordningsprogrammer sker normalt ud fra klokkeslæt og ugedag. Ofte er disse klokkeslæt fastsat mange år tidligere. Med passende mellemrum bør disse klokkeslæt vurderes, da for eksempel myldretidsperioderne kan ændre sig som følge af stigende trængsel, ændrede vilkår på arbejdsmarkedet, etc. Eventuelt kan programskiftetidspunkterne gøres trafikstyrede, således at det er trafikens variation på en given dag, der bestemmer, hvornår der skal skiftes signalprogram. Herved opnås også en større fleksibilitet på dage, hvor trafikken opfører sig anderledes, f.eks. på hverdage omkring helligdage eller i ferieperioder med mindre trafik.

Etablering af samordninger for uafhængige anlæg

Undertiden ses kæder af fuldt trafikstyrede signalanlæg, som ikke er samordnede. Der kan have været tale om en udvikling over mange år, hvor signalkæden er opbygget lidt efter lidt. Etablering af en samordning, som i det mindste er gældende i myldretiden, vil ofte kunne forbedre fremkommeligheden på strækningen.

8.3.3 Opdatering af signalprogrammer i enkeltkryds

I det enkelte signalanlæg findes der en række tiltag, som afhængig af de lokale omstændigheder, kan forbedre trafikafviklingen i tilfælde af kødannelser.

Grøntider i tidsstyrede anlæg

Hvis der er kø på én eller begge modstående tilfarter, men ikke på den tværgående vej, er årsagen måske, at grøntiden er for kort i tilfarterne med kø. Ved at tildele mere grøntid i retningen med kø, kan problemet helt eller delvis afhjælpes.

Min- og maxgrøntider i trafikstyrede anlæg

Hvis problemet opstår i et trafikstyret kryds, kan årsagen ligge i, at trafikstyringen ikke tillader en tilstrækkelig lang grøntid til at afvikle de køretøjer, som er ankommet i løbet af rødtiden. En forøgelse af maksimumgrøntiden for retningen med kø kan måske løse problemet.

Afhjælningen af dette problem vil i nogen udstrækning forringe fremkommeligheden for trafikanter i den anden retning.

Venstresvingsfase

I kryds uden fase for venstresvingende og mange modkørende, kan de venstresvingende kun afvikles i mellemtiden mellem de to faser. Kun de biler, der holder ude i krydset ved skiftet fra grønt til gult, kan blive afviklet, typisk 2-4 biler pr. signalomløb. Hvis der ankommer flere biler pr. omløb, vil der hurtigt opstå en stadigt voksende kø af biler i venstresvingsbanen. Hvis venstresvingsbanen er for kort, kan køen spærre for de ligeudkørende. I denne situation vil alle i tilfarten få en væsentlig forøgelse af ventetiden.

Indførelse af en fase med venstresvingspil eller separatreguleret venstresving kan afhjælpe dette problem helt eller





FIGUR 28 Ved vejarbejde ved et signalanlæg kan der udføres en kapacitetskontrol og en evt. justering af signaltiderne/signalprogrammerne.

delvist, men ofte på bekostning af andre trafikanter i krydset, som vil få en længere ventetid.

Højere omløbstid

En forøgelse af grøntiderne og dermed forøgelse af omløbstiden i krydset tilfører en øget kapacitet, men samtidig øges den maksimale ventetid, fordi rødtiderne også bliver længere. En højere omløbstid medfører dog færre faseskift pr. time og dermed en reduceret kapacitet for venstresvingende med mindre de kan afvikles i en venstresvingfase.

8.3.4 Beredskab ved vejarbejde

Ved vejarbejde i nærheden af et signalanlæg vil kapaciteten ofte blive reduceret. Dette kan skyldes afspærring af tilfarts- spor eller opstilling af afspærringsmateriel tæt på kørebanelen, der medfører smalle og måske kringledede kørespor forbi arbejdsstedet. Især afspærring af kørespor medfører en betydelig reduktion af kapaciteten i en signaltilfart.

I situationer med vejarbejde kan der udføres en kapacitetskontrol for at sikre, at anlægget har den nødvendige kapacitet, eller i det mindste at anlægget fungerer så godt som muligt under de midlertidige omstændigheder. Reduktionen af kapaciteten for en retning kan f.eks. betyde, at det vil være fordelagtigt med et signalprogram, hvor der er flyttet grøntid fra den tværgående retning.

I en situation med vejarbejde er det ofte nødvendigt at omlæde trafikken ad en anden rute. Hvis der her er signalanlæg, bør der gennemføres en trafikal vurdering med henblik på at tilvejebringe et grundlag for, om signalanlæg bør justeres til at kunne håndtere de nye trafikmønstre. Ændringerne kan f.eks. bestå i ændrede grøntider, svingfaser m.v.

I tilfælde af opgravning omkring et trafikstyret kryds kan det være vanskeligt at bevare alle detektorer i funktionsdygtig stand. I denne situation skal signalanlæggets funktion i perioden med vejarbejde vurderes og evt. ændres.

8.3.5 Specielle signalprogrammer for særlige begivenheder

Afslutningen af sportsarrangementer, koncerter og lignende vil ofte medføre pludselig og kraftig tilstrømning til et vejnet med signalanlæg: Her kan det være af betydning, at signal-systemet er indrettet til at kunne håndtere denne situation. Dette kan ske med et særligt signalprogram, hvor detektorer løbende registrerer trafikfordelingen i vejnettet og aktiverer specialprogrammet med prioritet for de ønskede trafikstrømme, når den særlige situation opstår. Specialprogrammet kan også forprogrammeres, så det træder i kraft på et bestemt tidspunkt.

8.4 OMBYGNING AF ÆLDRE TIDSSTYREDE ANLÆG

Der findes i Danmark 234 signalanlæg, der hverken har indbyggede trafikstyrings- eller samordningsfunktioner. Disse anlæg lever langt fra op til de krav, trafikanterne med rimelighed kan stille til et moderne trafiksignalanlæg. Dermed betaler trafikanterne en høj pris for at passere et anlæg af denne type. Trafikanternes gennemsnitlige forsinkelse, antal stop og brændstofforbrug er i disse gamle anlæg betydeligt højere end i trafikstyrede signalanlæg.

Anlæg af denne type kan gennemgå en ombygning, så de efterfølgende er fuldt trafikstyrede og lever op til nutidens standard.

8.5 SIGNALSTRATEGI

En forvaltning kan udarbejde en strategi for, hvordan og i hvilken retning forvaltningens signalanlæg skal udvikles. Signalstrategien baseres på en kortlægning af de signaltekniske forhold, der som minimum omfatter signalanlæggenes fysiske tilstand og indretning som f.eks. styreapparaters alder, vedligeholdelsestilstand, anlæggets styreform, detektorer m.v.

En kortlægning bør omfatte de trafiktekniske forhold i hvert enkelt signalanlæg, der har betydning for trafiksikkerhed og fremkommelighed.

På baggrund af kortlægningen af de faktiske forhold opstilles en vision for, hvorledes forvaltningens trafiksignaler og signalssystem skal se ud i fremtiden. Det vil være naturligt at inddrage målsætninger for følgende forhold i en signalstrategi:

- Overvågning
- Hurtighedskrav til udbedring af opståede fejl
- Vedligeholdelsesstandard
- Udskiftningstakt for styreapparater
- Trafiksikkerhed
- Fremkommelighed
- Styrestrategi for samordnede og uafhængige anlæg
- Busprioritering
- Trafikteknisk beredskab ved vejarbejde
- Trafiktekniske tilsyn og tilstandsrapporter
- Egenindsats og udlicitering

Til slut opstilles en handlingsplan, der sikrer at målene nås inden for de økonomiske rammer, som afstikkes af de løbende bevillinger. Endelig er det af stor vigtighed, at en signalstrategi er forankret i organisationen, så der er klarhed om målene og visionerne i forvaltningen.

8.6 SIGNALOPTIMERING I PRAKSIS

Et af de billigste tiltag til forbedring af fremkommeligheden i byområder er optimering af forvaltningens signalanlæg. Optimering af signalanlæg er den proces, der omfatter udvikling og implementering af nye signaltider, faserækkefølge, forbedrede styrestrategier og undertiden mindre fysiske ændringer, som f.eks. forlængelse eller etablering af en svingbane.

Justeringerne baseres normalt på analyser baseret på trafiktællinger og tilgængelig dokumentation om de berørte signalanlæg. Optimeringsprocessen består af følgende trin:

- Få overblik over problemerne og trafikafviklingen i krydset eller på strækningen gennem observationer i marken eller ved gennemkørsel af strækningen
- Fremskaf den nødvendige dokumentation om signalanlægget eller samordningen
- Fremskaf trafikdata i form af en krydstælling med data i 15-minutters intervaller
- Fremskaf kollisionsdiagram og uheldsoplysninger for krydset
- Analysér de indsamlede data/observationer
- Optimér signalanlæggenes tidssætning med manuelle beregningsmetoder eller ved brug af pc-programmer som Dankap, TRANSYT eller et simuleringsværktøj som VISSIM
- Ændringerne implementeres i signalanlæggenes styreapparater
- Vurdér virkningerne af ændringerne ved observationer i krydsene. På denne baggrund foretages eventuelt justeringer (trafikteknisk opfølgning)

Processen gentages hvert 3.-5. år eller efter behov for at sikre, at signalanlæggene til stadighed yder trafikanterne den bedste service. Ændringer i trafikmønstret fremkaldt af nye butikcentre, nye større bolig- eller erhvervsområder og vejlukninger bør altid medføre overvejelser om funktionen i berørte anlæg.

9. REFERENCER

1. Akçelik, R. og Besley, M.
Operating Cost, fuel consumption, and emission models in aaSIDRA and aaMOTION. 25th Conference of Australian Institutes of Transport Research, Adelaide, Australia, 3-5 December 2003
2. Binning, J.C. og Crabtree, M.R.
TRANSYT 11 User Guide
TRL Software Bureau, 1999
3. Davidsson, Fredrik
Effektivare trafiksignaler
TFK Rapport 1990:7, 1990
4. DTU Transport, 2010
Transportøkonomiske Enhedspriser til brug for samfundsøkonomiske analyser
Regnearksmodel udarbejdet af DTU Transport og COWI for Transportministeriet. DTU Transport, juli 2010
5. ITE, Institution of Transportation Engineers
Benefits of retiming traffic signals, 2005
6. Halkias, J. Schauer, Michael
Red Light, Green Light, Public Roads, Nov./Dec. 2004
7. Hammarström, Ulf
Energy savings in systems of coordinated traffic signals with Automatic updating (AUT). VTI EC Research 11, 2000
8. Hedelund, Morten og Tønnesen, Jacob
Optimering af signalanlæg i København. Afgangprojekt. DTU Transport, Danmarks Tekniske Universitet, 2009
9. Kronborg, Peter
MOVA and LHOVRA traffic signal control for isolated intersections.
TFK report. 1992:4E, 1992
10. Kronborg, Peter
Bättre trafiksignaler är oslagbart lönsamma
TFK Minirapport, MR 103, 1996

11. Lauritzen, Steen Merlach
Miljøoptimering af signalanlæg
Trafikdage ved Aalborg Universitet, 1995
12. Miljøstyrelsen
Prissætning af transportens eksterne effekter
En gennemgang af metoderne til prissætning samt danske og internationale prissætningsstudier, Miljøprojekt nr. 734, 2002
13. Paulson, S. Lawrence
Managing Traffic Flow Through Signal Timing
Public Roads, Jan./Feb. 2002
14. Skarbadonis, Alexander
Evaluation of the Fuel-Efficient Traffic Signal Management (FETSIM) Program: 1983-1993. University of California, Berkeley, Institute of Transportation Studies, 1994
15. Trafikministeriet
Manual for samfundsøkonomisk analyse - anvendt metode og praksis på transportområdet, 2003
16. Trafikministeriet
Projekt trængsel, Resumé, Transportministeriet, 2004
17. Vejdirektoratet
Kapacitet og serviceniveau, Vejregelforslag, Vejdirektoratet, maj 2008
18. Vejdirektoratet
Prioritering af bygennemfarer på statens veje, Rapport, december 2007
FORELØBIG
19. Volvo
Emissions from Volvo's trucks (standard diesel fuel)
PM af Lars Mårtensson, 3. nov. 2003
20. Vägverket
Sverige behöver bättre trafiksignaler!
Vägverket, 2000
21. Vägverket
Signalreglering med LHOVRA-teknik. Projekteringshandbok.
Publikation 1991:51, Vägverket, 1991

10. BILAG

Bilag 1: Resultater fra spørgeskemaundersøgelsen

Bilag 2: Samfundsøkonomisk kalkule vedr. årlige omkostninger i signalanlæg

Bilag 3: TERESA - Samfundsøkonomisk model for signalanlæg



BILAG 1:

RESULTATER FRA SPØRGESKEMAUNDERSØGELSE

1. BAGGRUND

Spørgeskemaundersøgelsen blev gennemført som en web-baseret spørgeskemaundersøgelse. Spørgeskemaet blev sendt til den person i hver kommune, der vurderedes at have de bedste forudsætninger for at udfylde skemaet. For Vejdirektoratets vedkommende var det signalansvarlige i hvert af de 6 vejcentre, som besvarede spørgeskemaet.

Modtageren af spørgeskemaet havde mulighed for at sende spørgeskemaet videre, hvis vedkomne vurderede, at der var en anden person i kommunen, der havde bedre forudsætninger for at udfylde spørgeskemaet.

Udformningen af spørgsmålene i spørgeskemaet blev indledningsvist sendt til 5 tilfældige kommuner. Disse kommuner blev efter at have udfyldt spørgeskemaet kontaktet telefonisk for at teste, om de havde forstået spørgsmålene korrekt. På trods af denne test viser bemærkninger fra andre kommuner, at nogle har haft særdeles vanskeligt ved at udfylde spørgeskemaet. I nogle forvaltninger er viden om f. eks. styringen af de lokale signalanlæg således yderst begrænset.

Det er dog lykkedes at indhente information om alle kommuners signalanlæg. Svarene på nogle spørgsmål er dog i enkelte tilfælde et skøn fra kommunerne, men det vurderes, at undersøgelsen giver et retvisende billede, selv om svarene ikke er 100 % korrekte.

Ved alle spørgsmål gav spørgeskemaet mulighed for at komme med supplerende kommentarer.

2. SPØRGSMÅL

Spørgeskemaet indeholdt følgende spørgsmål:
Hvor mange signalanlæg ejes af kommunen? Ved signalanlæg forstås:

- Anlæg i vejkryds og fritliggende signalregulerede stikrydsninger/fodgængerfelter
- Gule blink over fodgængerfelter (Toronto-anlæg) betragtes ikke som signalanlæg
- Signalanlæg, der ejes af Vejdirektoratet (beliggende på statsvejnettet), medregnes ikke

- Signalanlæg, der ejes af kommunen, men drives af Vejdirektoratet, medregnes

1. Hvad er fordelingen af disse anlæg på følgende kategorier?
 - Antal anlæg, der er samordnede i hele døgnet
 - Antal anlæg, der er samordnede i dele af døgnet
 - Antal anlæg, ikke samordnede, med detektorer (trafikstyrede med f.eks. spoler eller video)
 - Antal anlæg, ikke samordnede, ingen detektorer (tidsstyrede)
2. Hvor mange af kommunens signalanlæg er på nuværende tidspunkt overvågede, så kommunen eller driftvedligeholderen automatisk modtager alarmer ved fejl på signalanlæggene?
3. I hvor mange af kommunens signalanlæg benyttes video til at detektere trafikken?
4. Hvor mange årsværk benytter forvaltningen til at planlægge ændringer i signalindstillingen (omløbstider, grøntider og samordning) for at forbedre trafikafviklingen?

3. SVAR

Antal signalanlæg

Der er 2.803 signalanlæg i Danmark, der bestyres af Vejdirektoratet eller kommunerne. I figur 1 er fordelingen af signalanlæggene vist mellem Vejdirektoratet, de største kommuner (med over 100 signalanlæg), de mellemstore kommuner (med 21 - 100 anlæg) og de små kommuner (med færre end 20 anlæg).

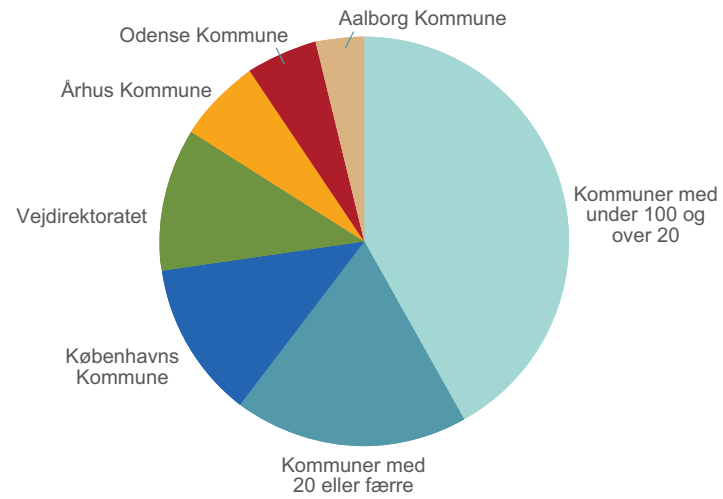
Københavns Kommune er med 349 signalanlæg, den vejbestyrelse, der har flest signalanlæg.

Fordeling på styringsform

Fordelingen på styringsform er illustreret i figur 2. Det fremgår at andelen af samordnede og fritliggende signalanlæg er nogenlunde lige store.

Det er overraskende at hele 234 signalanlæg er fritliggende tidsstyrede signalanlæg.

FORDELINGEN AF SIGNALANLÆG PÅ VEJBESTYRELSE



FIGUR 1 Fordelingen af signalanlæg på vejbestyrelser



Overvågning

Andelen af overvågede signalanlæg er illustreret i figur 3. Knap 40 % af landets signalanlæg er ikke overvågede. Fejl på disse signalanlæg opdages derfor ikke automatisk via et overvågningssystem. Det er især kommunale anlæg, som er uden overvågning.

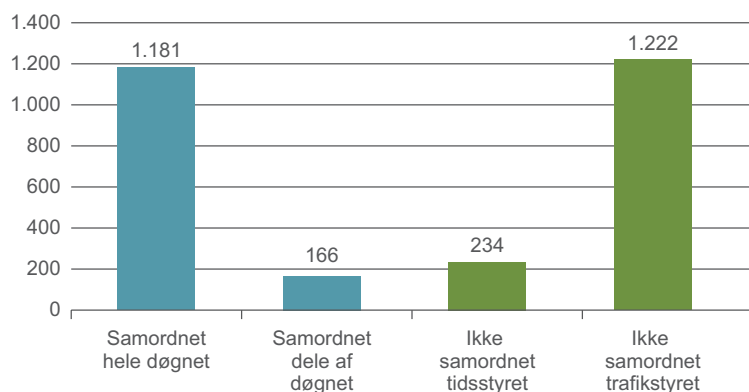
Videodetektering

Kommunerne har meldt tilbage at i alt 46 signalanlæg benytter video til detektering. Formålet med dette spørgsmål var at få overblik over hvor udbredt video er som detekteringsmetode.

Årsværk til signalforbedringer

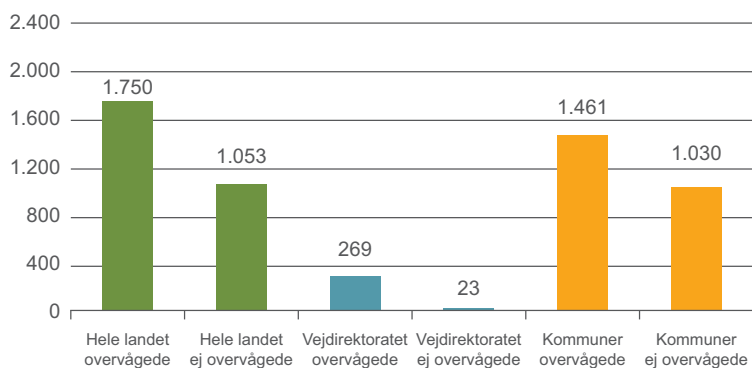
Kommunerne har meldt tilbage, at der i alt benyttes cirka 10 årsværk til optimering af signalindstillinger. 10 årsværk svarer til cirka 5 timer pr. signalanlæg pr. år. Det vurderes dog, at der er meget stor usikkerhed på denne værdi, da det vurderes at nogle kommuner har svaret på, hvor meget tid de i alt benytter til signalanlæg i kommunen inkl. drift, projektering af geometriske ombygninger og etablering af nye anlæg.

FORDELINGEN AF SIGNALANLÆG PÅ STYRINGSFORMER



FIGUR 2 Fordelingen af signalanlæg på styringsformer

FORDELINGEN AF SIGNALANLÆG



FIGUR 3 Fordelingen af signalanlæg på overvågede og ikke overvågede anlæg

BILAG 2:

SAMFUNDSØKONOMISK KALKULE AF ÅRLIGE OMKOSTNINGER I SIGNALANLÆG

1. BAGGRUND

Af helt indlysende årsager er det i sagens natur umuligt at beregne, hvor meget de danske trafikanter samlet set har af genevirkninger i alle danske signalanlæg tilsammen. Ud fra nogle fastlagte forudsætninger er det dog muligt at give et meget groft skøn over disse omkostninger.

Et sådant overslag er ikke et udtryk for, hvad samfundet kan spare ved at fjerne alle landets signalanlæg. Overslaget skal alene give et indtryk af de direkte genevirkninger, som de 2.800 signalanlæg rent faktisk giver anledning til.

Omkostningerne er opgjort på forskellige bidrag:

1. Forsinkelse (tid)
2. Brændstof
3. Ulykker
4. Drift og overvågning af signalanlægget

I det følgende er disse omkostninger søgt kvantificeret.

2. FORUDSÆTNINGER

Trafikmængder

De største trafikmængder findes i Storkøbenhavn og omkring de største byer. Her er det ikke ualmindelig at den overordnede vej har en årsdøgntrafik på 25-35.000 køretøjer. Med sideretningen er det således helt almindeligt med en samlet indgående trafik i krydset på 40-50.000 køretøjer. Herudover findes en del kryds med endnu mere trafik, måske helt op til 70.000-80.000. Dog findes også mange lysregulerede kryds med en væsentlig mindre trafik, ofte ned til 5-10.000 køretøjer.

De fleste kryds er dog belastet af mere moderate trafikmængder. Ifølge vejman.dk er den gennemsnitlige trafikmængde (ÅDT) på dette vejnet i 2006 på 24.000. I mangel af bedre viden benyttes denne værdi som udtryk for belastningen af et gennemsnitskryds.

Andel stop

I denne grove opgørelse er det antaget, at 33 % af køretøjerne skal standse for rødt lys, mens 67 % således antages at passere uhindret for grønt lys. Dette er et skøn, som omfatter en sammenvægtning af både samordnede

systemer og trafikstyrede kryds. I samordnede systemer skal man jo også tage højde for, at selv om strækningen er indrettet med en grøn bølge, så vil indsvingende på strækningen og den krydsende trafik have en noget højere stopandel end den gennemgående trafik på den samordnede strækning.

Skønnet på 33 % standsede køretøjer er formentlig meget optimistisk. Når der foretages en vurdering af storbytrafik med tidsstyrede signalanlæg, må man trods forekomsten af grønne bølger ofte forvente en høj stopandel.

Den samlede forsinkelse pr. standset køretøj er forudsat til 25 sek. bestående af 17 sekunder i tomgang og 4 sek. til hhv. deceleration og acceleration.

Brændstofmodel

Optimeringsmodellen TRANSYT indeholder parametre til beregning af brændstofforbruget. Værdierne fra denne model er anvendt. Ved 50 km/t er regnet med et merforbrug til acceleration efter stop på 0,016 liter pr. køretøj. Tomgangsforbrug for et køretøj, der holder stille for rødt lys er sat til 1,0 liter pr. time. Der er regnet med at alle køretøjer er personbiler. Lastbiler har under acceleration et betydeligt større brændstofforbrug end personbiler. Det beregnede brændstofforbrug kan derfor være kraftigt undervurderet i større eller mindre omfang.

Enhedspriser

Enhedspriser fremgår af Transportøkonomiske Enhedspriser til brug for samfundsøkonomiske analyser (DTU Transport, 2010). Der er regnet med en pris på brændstof på 10,43 kr. pr. liter.

For tidsomkostningen er der regnet med en timepris på 162 kr., der er et vægtet gennemsnit af enhedspriserne for person-, vare og lastbiler på hhv. 133 kr., 297 kr. og 411 kr. pr. time. Vægtningen er sket ud fra Vejdirektoratets trafiktællinger for fordelingen af person/vare/lastbiltrafik i byområder.

Drift og overvågning

Der er regnet med en omkostning på 25.000 kr. pr. år. Denne omkostning omfatter elforbrug, overvågning og sædvanlig vedligehold.

3. RESULTATER

I overslaget er omkostningen først fundet for ét lysreguleret kryds. Dernæst er resultatet opregnet med antallet af signalregulerede kryds i Danmark.

Trafik

Døgntrafik (ÅDT): 24.000

Antal stop

Antal stop/døgn: 33 % af døgntrafikken = $33 \% \cdot 24.000 = 8.000$ pr. døgn
Antal stop pr. år: $8.000 \cdot 365 = 2.920.000$

Forsinkelse

Forsinkelse pr. standset køretøj: 25 sek.
Forsinkelse pr. døgn: $8.000 \cdot 25 \text{ sek.} = 200.000 \text{ sek.} = 56$ timer pr. døgn
Forsinkelse pr. år: $56 \text{ timer} \cdot 365 = 20.278$ timer pr. år

Tidsomkostning kr. 162 pr. time

Tidsomkostning for et år: $20.278 \cdot \text{kr. } 162 = \text{kr. } 3.381.375$

Brændstofforbrug

Tomgangsforbrug: 1,00 liter/time

Tomgangstid: 17 sek. pr. stop

Antal stop pr. døgn: 8.000

Tomgangsforbrug pr. døgn: $8.000 \cdot 17/3600 \cdot 1,00 = 37,77$ liter

Tomgangsforbrug pr. år: $365 \cdot 37,77 \text{ liter} = 13.789$ liter

Merforbrug ved acceleration: 0,016 pr. stoppet køretøj

Merforbrug pr. døgn: $8.000 \cdot 0,016 \text{ liter} = 128,0$ liter

Merforbrug pr. år: $365 \cdot 128 \text{ liter} = 46.720$ liter

I alt merforbrug af brændstof pr. år: $13.789 + 46.720 \text{ liter} = 60.509$ liter

Pris på brændstof: kr. 10,43

Brændstof, tomgang pr. år: $13.789 \cdot 10,43 \text{ kr.} = \text{kr. } 143.818$

Brændstof, acceleration pr. år: $46.720 \cdot 10,43 \text{ kr.} = \text{kr. } 487.290$

I alt merforbrug af brændstof pr. kryds pr. år: = kr. 631.108

Ulykker

I 2009 skete i alt 2.323 ulykker i danske signalanlæg, heraf 469 med personskade med i alt 563 dræbte og tilskadekomne. Det samlede samfundsmæssige tab ved trafikulykker kan ved brug af Vejdirektoratets sædvanlige metode

og trafikøkonomiske enhedspriser (DTU Transport, 2010) opgøres til 2.441 mio. kr., idet der opgøres dels på personrelaterede omkostninger pr. skadetype, dels på de materielskaderelaterede omkostninger. Pr. signalanlæg svarer dette til en omkostning på 871.000 kr. pr. år.

Skadestype	Antal 2009	Enheds- pris (2010) kr.	Samlet omk. (mio. kr.)
Let tilskadekomne	278	457.471	127
Alvorligt tilskadekomne	266	3.037.046	808
Dræbte	19	17.726.781	337
Personrelaterede. uheldsomkostninger	563		1.272
Materielomkostninger	1760	664.543	1.169
I alt person- og materielomkostninger			2.441

Samlet resultat

De samlede årlige samfundsmæssige omkostninger (2010-prisniveau) for et enkelt signalreguleret kryds kan således opgøres ved at addere de enkelte bidrag og opregne med det samlede antal signalanlæg på 2.803. Opregningen er vist i nedenstående tabel.

Dette giver en samlet årlig omkostning pr. anlæg på 4,9 mio. kr. Bortset fra eventuelle uheldsomkostninger og den spildte tid har trafikanterne direkte udgifter på 631.000 kr. i form af ekstra brændstofforbrug ved stop for rødt lys og efterføl-

gende acceleration. Brændstofomkostningerne svarer til 7 øre pr. passage af et signalreguleret kryds.

Brændstofforbruget på i alt 60.000 liter pr. signalanlæg fordeles sig med 25 % til ventetid for rødt og 75 % til acceleration.

For alle landets signalanlæg udgør de samlede omkostninger 13,8 mia. kr. Heraf udgør de direkte brændstofrelaterede udgifter skønsmæssigt 1,8 mia. kr. Vejbestyrelsens direkte omkostninger til drift og vedligehold udgør ca. 0,5 % af de samlede omkostninger.

Omkostning pr. år (kr.)	Pr. anlæg	I alt for 2.803 anlæg	%
Forsinkelse	3.381.375	9.477.993.000	68,9
Merforbrug af brændstof (i alt)	631.108	1.768.995.000	12,9
Heraf tomgang	143.818		
Heraf acceleration	487.290		
Uheld	870.853	2.441.000.000	17,7
Drift og vedligehold	25.000	70.075.000	0,5
Total pr. år	4.908.336	13.758.063.000	100

BILAG 3:

TERESA - SAMFUNDSØKONOMISK MODEL FOR SIGNALANLÆG

1. BAGGRUND

De samfundsøkonomiske gevinster ved at optimere signalanlæg er ofte store. For at standardisere beregninger af samfundsøkonomiske effekter for signalanlæg er udviklet en regnearksmodel til at beregne de samfundsøkonomiske konsekvenser af ændringer i signalregulerede kryds.

Modellen er udviklet med udgangspunkt i Teresa-modellen beskrevet i Trafikministeriet, 2003: "Manual for samfundsøkonomisk analyse - anvendt metode og praksis på transportområdet". Denne model er udviklet til vurdering af større infrastrukturprojekter.

Den udviklede model kan benyttes til at beregne de samfundsøkonomiske konsekvenser af signaltekniske og/eller geometriske ændringer for et enkelt signalreguleret kryds eller for et større net af signalregulerede kryds.

2. INPUT TIL MODELLEN

Beregningerne baseres på følgende viden om et konkret tiltag:

- rejsetid for biler og lastbiler i de forskellige alternativer
- brændstofforbrug for biler og lastbiler i de forskellige alternativer
- CO og NO_x udslip i forskellige alternativer
- antal stop i forskellige alternativer (bruges ikke i beregningerne - kun til illustration)
- Input til regnearksmodellen vil typisk være baseret på resultater fra en trafikmodel - f.eks. VISSIM.

3. FORUDSÆTNINGER FOR MODELLEN

Modellen er bygget op omkring følgende forudsætninger:

- Modellen kan medtage og beregne samfundsøkonomiske omkostninger for følgende effekter:
- Investeringsomkostninger
- Ændring i rejsetid

- Ændring i CO₂, CO og NO_x (Ændring i CO₂ beregnes i modellen ud fra ændringer i brændstofforbruget)
- Modellen kan håndtere op til 4 forskellige alternativer, hvoraf det ene vil være et basisalternativ, f.eks. den nuværende signalstyring
- Tidshorizonten er 5 år
- Al rejsetid opfattes som køretid - dvs. at alle eventuelle forsinkelser antages at være forventede (relevant i forbindelse med hvilke tidsværdier, der anvendes)
- Der medtages ikke vækst eller ændringer i trafikken over den 5-årige periode.

Den udviklede model indeholder overvejende nøgletal fra Transport- og Energiministeriets Nøgletalskatalog 2004, revideret juni 2006.

4. MODELLENS OUTPUT

Output fra modellen præsenteres som

- økonomiske nøgletal (IRR, NPV, tilbagebetalingstid i dage eller måneder)
- søjlediagram med størrelsen på forskellige effekter over tid (NPV)
- søjlediagram, der viser antal stop i forskellige alternativer

5. REGNEARKET

Oplysninger om projektet indtastes af brugeren på arket "Input". Regnearket er opbygget så ét basisalternativ sammenholdes med op til 3 forskellige projekialternativer.

Et eksempel på et udfyldt input ark fremgår af figuren på næste side.

De indtastede data skal være pr. dag med den pågældende trafiksituation - det kan f.eks. være en dag med myldretid. I arket Input skal det angives, hvor mange dage, der årligt forekommer med den pågældende trafiksituation. Er det myldretidsdage, kan det f.eks. sættes til 200.

Input

Forside

Beregninger

Placering af signalanlæg

By

Navn på alternativer

Nuværende situation
Alternativ 1
Alternativ 2
Alternativ 3

Centrale input

Startår for model	2007
Antal dage per år med denne trafiksituation	200

Rejsetid

Rejsetid	Enhed	Nuværende situation	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Personbiler	Køretøjstimer (per dag med denne trafiksituation)	170	160	150	140
Lastbiler	Køretøjstimer (per dag med denne trafiksituation)	18	17	16	15

Brændstof og miljø

Brændstofforbrug	Enhed	Nuværende situation	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Personbiler	Liter (per dag med denne trafiksituation)	4090	4070	4050	4030
Lastbiler	Liter (per dag med denne trafiksituation)	450	440	430	420

Miljø, udledning af	Enhed	Nuværende situation	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
CO2*	kg (per dag med denne trafiksituation)	11.645	11.570	11.495	11.420
NOX	kg (per dag med denne trafiksituation)	17	16	16	15
CO	kg (per dag med denne trafiksituation)	84	83	83	83

*Skal ikke indtastet. Beregnes ud fra brændstoffsforbrug

Investering

Investeringsomkostninger første år	Enhed	Nuværende situation	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Investeringsomkostninger	DKK 2007 Prisniveau	0	200.000	300.000	400.000

Investeringen skal opgøres ex. moms og afgifter

Antal stop

Antal stop	Enhed	Nuværende situation	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Samlet antal stop ved signalanlæg	Stop (per dag med denne trafiksituation)	20900	20700	20000	18000

Resultater

Når projektdata er indtastet kan det samlede overordnede resultat aflæses på arket "Resultater". Eksempel på et resultatark fremgår af figuren på næste side, hvor resultater for alternativ 3 i inputarket er vist.

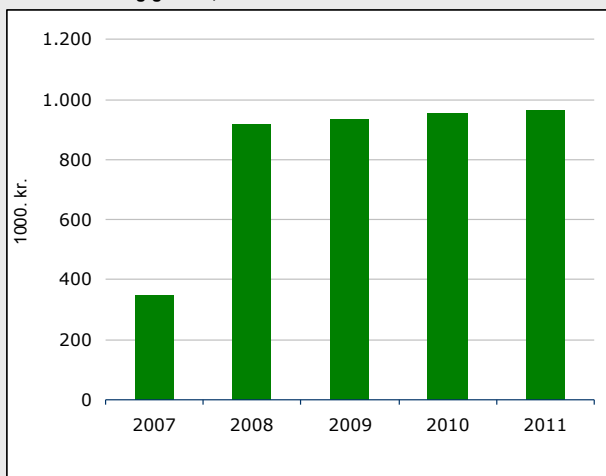
Vis resultater for alternativ

Alternativ 3

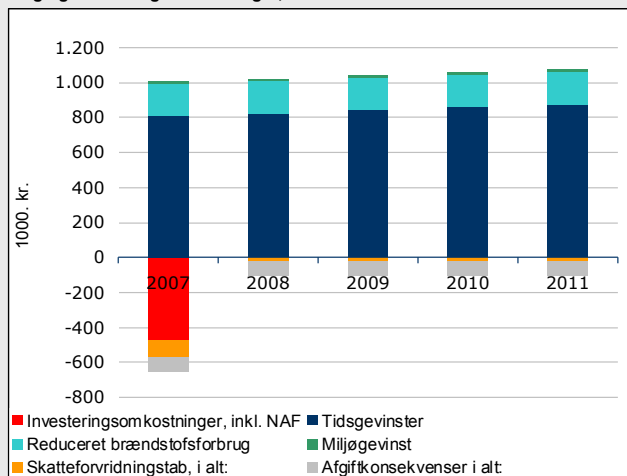
Resultater, gevinst ved alternativ 3 sammenholdt med Nuværende situation

Nutidsværdi af investering	kr.	3.611.249
Investeringsomkostning	kr.	468.000
Gevinst per dag med pågældende trafik	kr.	4.092
Tilbagebetalingstid	Dage med pågældende trafik	114

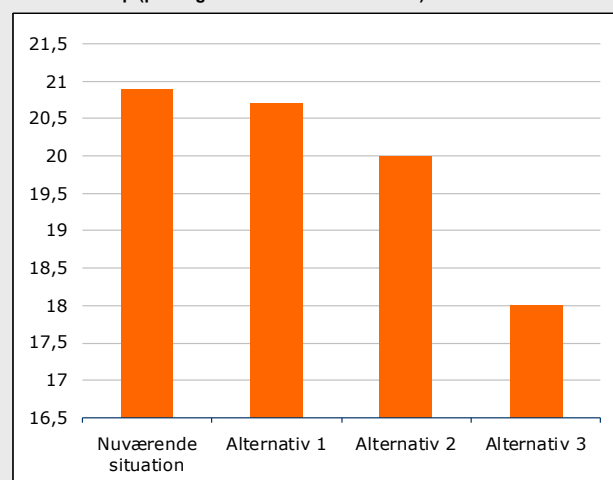
Samlet årlig gevinst, Alternativ 3



Årlige gevinster og omkostninger, Alternativ 3



Antal stop (per dag med denne trafiksituation)



Mere detaljeret indsigt i forudsætningerne fås via arket "Nøgletal" og mere detaljeret indsigt i beregningerne fås via arket "Beregninger".

Regnearket er opbygget så det i vidt omfang er selvforklarende. Det forudsættes dog, at brugeren har et vist kend-

skab til samfundsøkonomiske analyser på transportområdet, ligesom det er en fordel at være bekendt med den anvendte metode beskrevet i Trafikministeriet, 2003: "Manual for samfundsøkonomisk analyse - anvendt metode og praksis på transportområdet"



Vejdirektoratet har lokalkontorer i Aalborg, Fløng, Herlev, Middelfart, Næstved og Skanderborg samt hovedkontor i København.

Find mere information på vejdirektoratet.dk.

VEJDIREKTORATET

Niels Juels Gade 13
Postboks 9018
1022 København K
Telefon 7244 3333

vd@vd.dk
vejdirektoratet.dk

