

Tilfartsregulering til motorveje

Har det nogen effekt?

Af civ.ing. Steen Lauritzen, Vejdirektoratet

1. Baggrund

Vejtrafikken er gennem de seneste 15 år steget kraftig. På motorvejene har der været en særlig stor stigning. Den gennemsnitlige årsdøgntrafik på motorvejene er således vokset fra 13.600 køretøjer i 1980 til 24.200 køretøjer i 1994.

Specielt i morgenmyldretiden på motorvejene omkring København har stigningen medført meget store vanskeligheder med afviklingen af trafikken. I dette tidsrum overstiger trafikbehovet kapaciteten på mange strækninger. Trafikanterne mærker dette i form af en betydelig lavere rejsehastighed, ofte på 20-40 km/t.

Det er ofte omkring rampetilslutningerne, at problemerne er synlige. Høj trafikintensitet på motorvejen plus indkørende trafik fra rampen overskrider tilsammen motorvejens kapacitet, hvilket uvægerligt medfører kø bagud ad motorvejen. Det er ikke kun trafikanter i motorvejens højre spor, der bliver påvirket af indkørende trafik ved ramperne. Hvis trafikken glider bedre i venstre spor vil nogle trafikanter skifte fra højre til venstre spor, indtil der igen er ligevægt, hvad angår hastighed. Kapacitetsproblemerne ses derfor i begge spor samtidig.

2. Rampedosering

Problemet er særligt stort, hvor rampetrafikken kommer fra et signalanlæg. I en del af signalomløbet pumpes store trafikmængder ad rampen ind på motorvejen i en sammenhængende kolonne. Netop denne kolonnedannelse menes at forstyrre trafikafviklingen på motorvejen mere, end hvis trafikken kom jævnt fordelt over hele signalomløbet. Dette skyldes, at det er vanskeligere for motorvejstrafikanterne at tilpasse sig to eller flere samtidige køretøjer end et enkelt køretøj.

En metode til afhjælpning af dette problem er en regulering af tilfartstrafikken på rampen ved et signalanlæg. Formålet med en tilfartsregulering med denne udformning skal opfylde to formål:

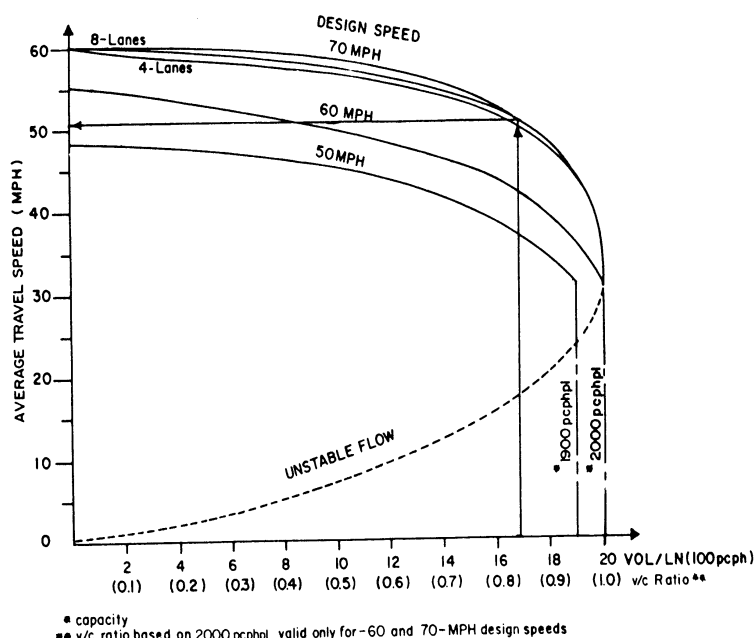
- Opsplitning af kolonner i enkeltkøretøjer
- Udjævning af minut til minut variationen i antallet af indkørende fra rampen

Signalet har en relativ kort omløbstid, som enten kan være fast eller kan variere efter trafikbehovet og den aktuelle hastighed og trafikmængde på motorvejen. I grønperioden tillades enten ét køretøj at passere stoplinien eller flere, hvis der benyttes lange omløbstider. Anlæggene er kun i drift, når trafikken på motorvejen ikke flyder frit.

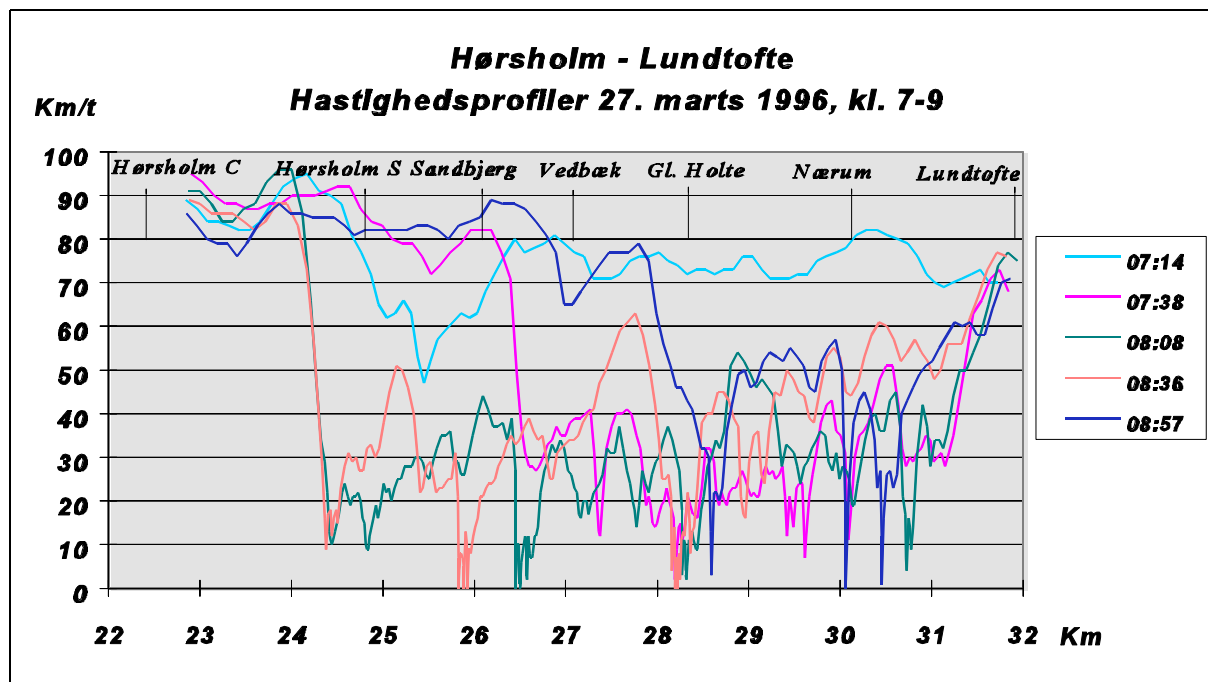
Allerede i 1960'erne indførte man i USA det første system med en sådan regulering. Denne form for tilfartsregulering benævnes på dansk rampedosering. Rampedosering er nu blevet meget udbredt på motorvejene omkring de amerikanske storbyer, hvor de er i drift i myldretidene. Også i Europa er der installeret en del rampedoseringsanlæg i de senere år. Alene i Holland er der 20 fuldt trafikstyrede anlæg i drift. Overalt, hvor doseringsanlæg er installeret, berettes om positive erfaringer i form af stigende hastigheder for motorvejstrafikanterne.

En klassisk teori for sammenhæng mellem trafikintensitet og hastighed er vist på figur 1. Når trafikintensiteten stiger, falder hastigheden. På et tidspunkt (til højre i diagrammet) afvikles trafikken ved kapacitetsgrænsen. Ved yderligere trafiktilførsel vil trafikafviklingen bryde sammen med en endnu lavere hastighed og ringere gennemstrømning til følge (den punkterede linie).

Med tilfartsregulering kunne man forestille sig, at det blev lettere at holde trafikken i gang ved en højere hastighed. Hvis der i en situation uden tilfartsregulering var trafikafvikling inden for cirklen, ville det måske være muligt at forskyde dette område opad mod højre, således at såvel hastighed som kapacitet kunne forøges.



Figur 1. Den klassiske sammenhæng mellem trafikintensitet og hastighed (Highway Capacity Manual, 1985)



Figur 2. Hastighedsprofiler for Helsingørmotorvejen mod syd kl. 7-9 mandag den 27. marts 1996.

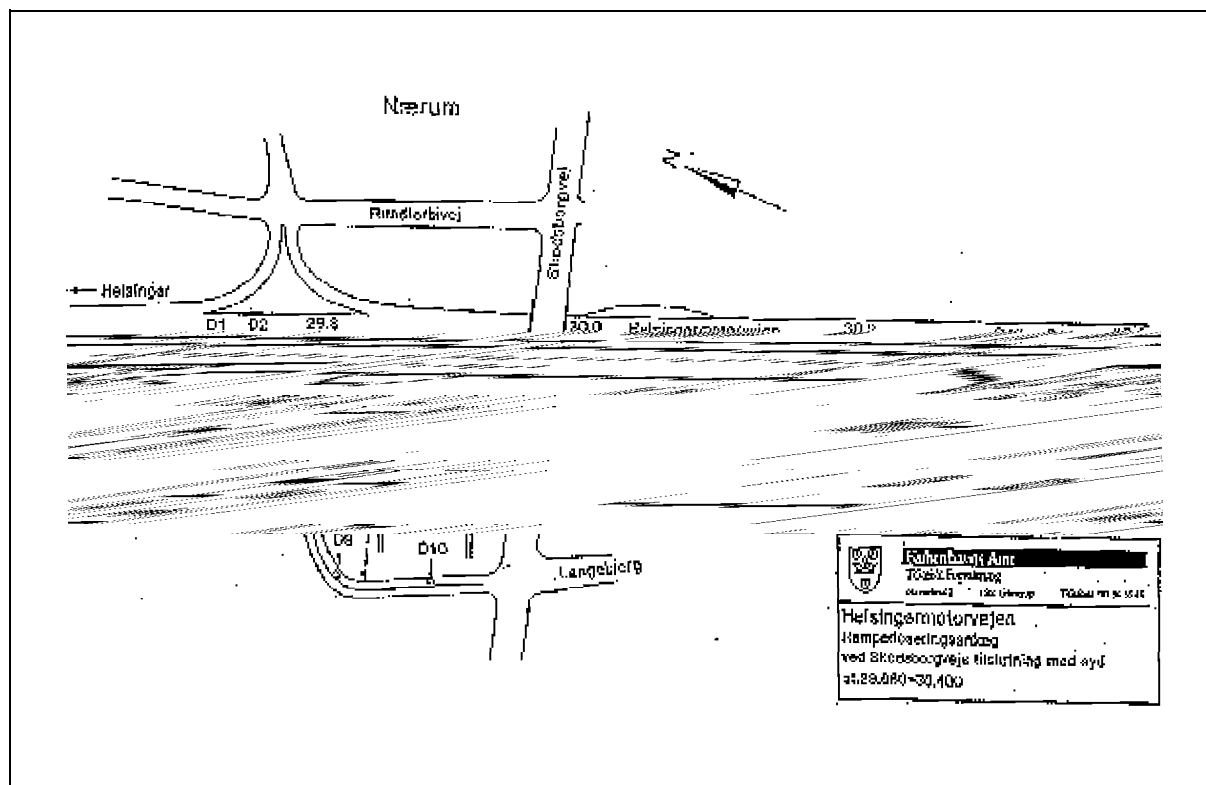
3. Rampedosering på Helsingørmotorvejen

Allerede i begyndelsen af 1980'erne kunne der være problemer med afviklingen af trafikken på Helsingørmotorvejen i morgenmyldretiden. Disse problemer er blevet mere synlige gennem de seneste 15 år. Syd for Nærum er årsdøgntrafikken vokset fra 36.300 i 1980 til 59.100 i 1995. Myldretidstrafikken er dog ikke vokset væsentligt.

Problemerne med trafikafviklingen om morgenen i retning mod København ses tydeligt af en serie hastighedsprofiler fra 27. marts 1996 (figur 2). Hastighederne gennem hele myldretiden er stærkt varierende. Ved to af gennemkørslerne er der oplevet en kø med en længde på ca. 7 km. Under friamtsforsøget fra 1989 til 1993 installerede Københavns Amt i juni 1992 efter hollandsk forbillede et trafikstyret rampedoseringsanlæg ved tilslutningen fra Skodsborgvej ved Nærum. Ved rampens begyndelse er der et signalanlæg, hvor der fra den ene af de to faser kan sendes op til 10-15 køretøjer ad gangen ind på rampen. Køretøjerne i en sådan kolonne er det ønskeligt at adskille i tid, så de kører ind på motorvejen enkeltvis i stedet for i samlet klump.

3.1 Udstyr

Detektorplaceringerne for rampedoseringsanlægget er vist på figur 3. På motorvejen er der i begge spor placeret detektorsæt med 500 m mellemrum før og efter rampen.



Figur 3. Oversigtsplan over tilslutningen ved Nærum med detektorplaceringer for styring af rampedoseringen.

Det første er placeret 100 m før rampen nord for Skodsborgvej. Det andet sæt er placeret ca. 300 m syd for Skodsborgvej. På rampen er der detektorer umiddelbart før og efter stoplinien til at styre afslutningen af det grønne og gule lys. Længere tilbage på rampen er der detektorer til bestemmelse af, om der er kø.

Signalet er et normalt 3-lyssignal. Signalet forvarsles med en A19-tavle (Lyssignal). Gule dobbeltblink er tændt, når signalet er i drift.

Måledata pr. 1 minut vedr. trafikmængder på motorvej og rampe, hastighed på motorvej mv. lagres i styreapparatet og sendes via modem til en pc hos Københavns Amt én gang i døgnet.

3.2 Styrealgoritme

Styringen af rampedoseringen ved Nærum svarer til det første hollandske anlæg, der styres efter den såkaldte Rijkswaterstaat-algoritme. Denne algoritme doserer primært efter trafikintensiteten på motorvejen efter rampen samt en forudbestemt værdi for kapaciteten. For hver grønperiode tillades ét køretøj at passere stoplinien. En mere præcis beskrivelse af algoritmen er givet i ref. 1. Løst sagt styres anlægget på følgende måde:



Figur 4. Tilfarten fra Nærum med rampedoseringsanlægget i drift.

Ind/udkobling

Anlægget indkobles, når hastigheden på motorvejen før rampen er faldet til under 70 km/t, og der samtidig har været mindst 5 køretøjer på rampen. Anlægget udkobles, når hastigheden både før og efter rampen har været over 75 km/t i mindst 5 minutter. Hvis hastigheden på motorvejen falder til under 15 km/t samtidig med, at én af kødektorerne på rampen melder om kø, slukkes anlægget for at undgå tilbageblokeringer ved signalreguleringen på Skodsborgvej.

Omløbstid

Den anvendte styrestrategi doserer rampetrafikken på en sådan måde, at motorvejens kapacitet efter rampetilslutningen ikke overskrides. Doseringen er således baseret på motorvejens kapacitet og den aktuelle trafikintensitet på motorvejen før rampen. Restkapaciteten tildeles rampetrafikken, idet denne fordeles over det næste minut. Omløbstiden bestemmes på følgende måde:

$$\text{Omløbstid} = \frac{3600}{\text{kapacitet} - \text{intensitet før rampe}}$$

Er restkapaciteten i et måleinterval fx 600 biler/time, svarer dette til, at en bil hvert 6. sek. gives tilladelse til fremkørsel. Omløbstiden fastsættes herefter til 6 sekunder i det efterfølgende minut.

Jo højere trafikbelastningen er på motorvejen, jo færre køretøjer lukkes ind på motorvejen fra rampen for at undgå trafiksammenbrud. Antallet af køretøjer, som pr. minut gives grønt lys, afhænger af doseringsanlæggets omløbstid. Jo større omløbstid, jo færre omløb pr. minut, hvilket medfører en kraftigere dosering og dermed færre antal køretøjer fra rampen. Den benyttede intensitet er ikke den aktuelt målte intensitet men er en udjævnet værdi baseret på en vægtet sum af den aktuelt målte værdi og den udjævnede værdi benyttet i det foregående minut.

Kapaciteten er en regneteknisk størrelse og er sat til 4650 køretøjer/time. Omløbstiden tillades kun at ligge i intervallet fra 4,5 sek. til 15 sek., svarende til hhv. 13 og 4 køretøjer pr. minut. Beregnede omløbstider uden for dette interval resulterer i en omløbstid på 4,5 eller 15 sekunder, afhængig af om den beregnede værdi ligger under eller over 15 sekunder.

For at undgå tilbageblokering til det signalregulerede kryds ved Skodsborgvej er der indbygget en sikkerhedsventil: Hvis køen på rampen når tilbage til et punkt ca. 130 meter fra Skodsborgvej (D9 på figur 3), reduceres omløbstiden med 4,5 sekunder pr. minut, indtil omløbstiden er 4,5 sekunder, eller indtil køen på detektoren er forsvundet.

Hvis målestationen på motorvejen før rampen melder om en hastighed på under 20 km/t, sættes omløbstiden til den maksimale værdi på 15 sekunder, uanset værdien af den beregnede omløbstid. Grøntiden og gultiden er variable og styres af detektorerne ved stoplinien. Rød/gul-tiden er fast 1 sekund.

4. Vejdirektoratets analyse

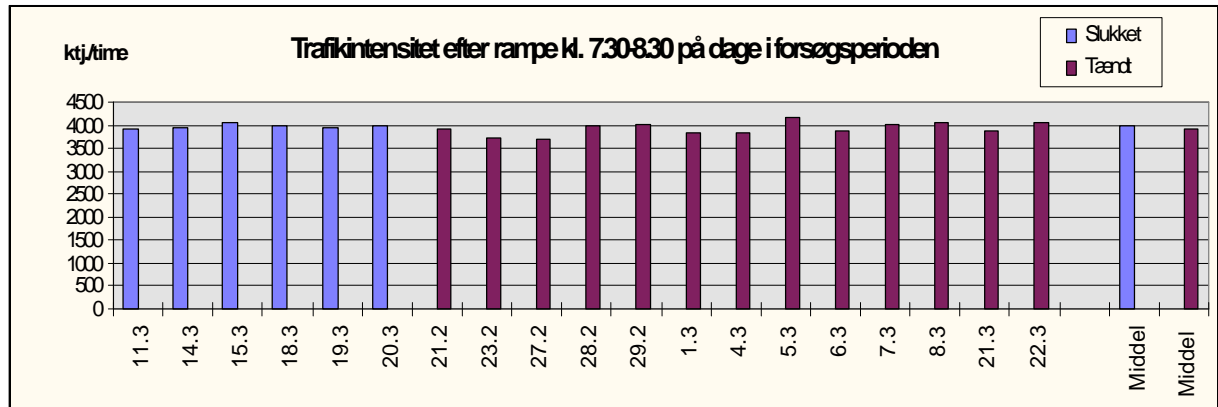
En grov analyse af effekterne for morgenmyldretiden kl. 7-9 kort efter etableringen viste en stigning i hastigheden på motorvejen omkring rampen i perioden fra kl. 7 til kl. 9 fra 46 km/t til 62 km/t. For at få et bedre vurderingsgrundlag for eventuelle nye doseringsanlæg besluttede Vejdirektoratet at gennemføre en analyse i marts 1996, hvor doseringsanlægget blev slukket i en periode fra mandag den 11. marts til og med onsdag den 20. marts. Desværre måtte 2 dage udgå af analysen pga. af stærk snefygning og et trafikuheld.

Data til undersøgelsen er baseret på de data, som systemet selv indsamler, videooptagelser af fletteprocessen, kørselsmålinger fra Gammel Holte (Øverødvej) til Lundtofte samt tidligere undersøgelser fra kursusarbejder ved DTU (ref. 2 og 3).

5. Effekter

5.1 Kapacitet

Ud fra data i minutintervaller, som automatisk indsamles af styreapparatet, kan trafikgennemstrømningen følges. Figur 5 viser gennemstrømningen i tidsrummet fra kl. 7.30-8.30 på en række dage, hvor anlægget har været i drift eller har været slukket i forbindelse med forsøget. Netop i dette tidsrum er trafikpresset meget stort og hastighederne både lave og svingende.



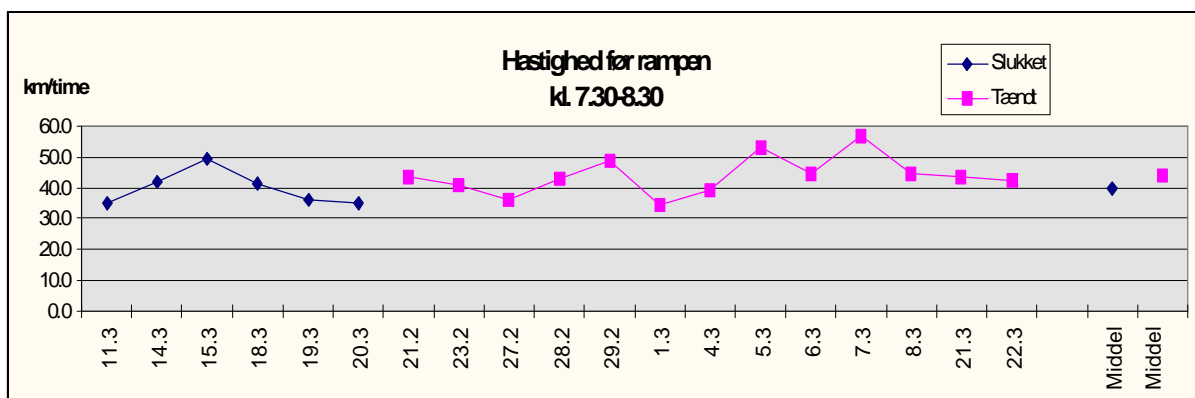
Figur 5. Trafikintensitet efter rampen kl. 7.30-8.30 med doseringen hhv. slukket og tændt.

Det ses af figur 5, at aktivering af doseringsanlægget ikke har ændret på antal køretøjer, som passerer doseringsanlægget. Faktisk er gennemstrømningen ca. 1% højere i perioden med doseringsanlægget slukket. Dette kan muligvis forklares med, at myldretidstrafikken generelt var ca. 1% højere i denne periode. Rampedoseringen ved Nærum synes således ikke at være i stand til at få flere biler i gennem flaskehalsen ved Nærum.

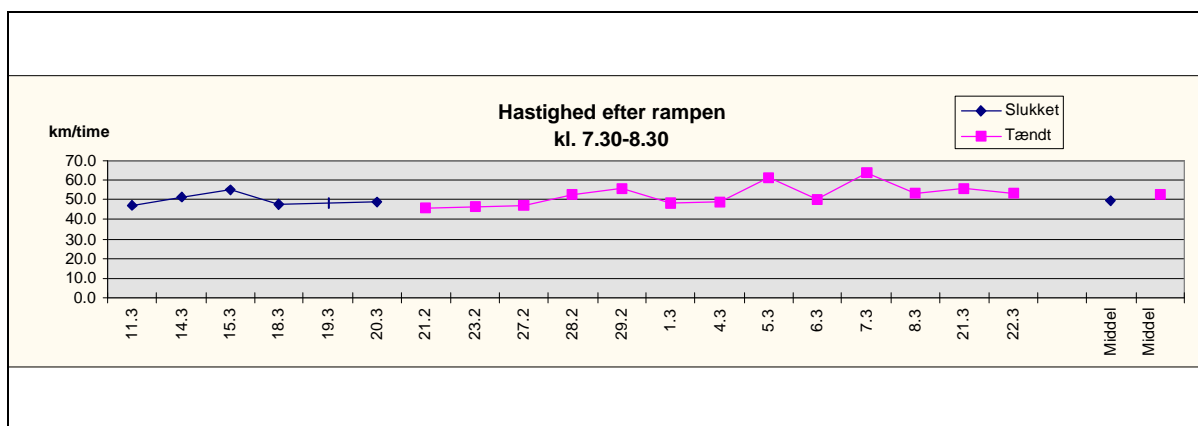
5.2 Hastigheder

Hastigheder for de to målepunkter på motorvejen er indsamlet for hvert minut. Resultaterne er vist på figur 6 og 7 for en række dage, hvor doseringen har været slukket eller i drift. Data omfatter perioden fra kl. 7.30 til kl. 8.30.

Det ses, at for begge målepunkter er hastigheden højere, når doseringsanlægget er i drift. Før rampen er hastigheden øget fra 40 km/t til 44 km/t. Efter rampen er hastigheden øget fra 50 til 53 km/t. En analyse tidsrummet kl. 7.45-8.15 viser en stigning på hhv. 7 km/t og 4 km/t før og efter rampen. En analyse af perioden før og efter det tidspunkt, hvor doseringsanlægget går i drift (kl. 7.00-7.30) viser ingen forskelle med doseringsanlægget tændt og slukket.

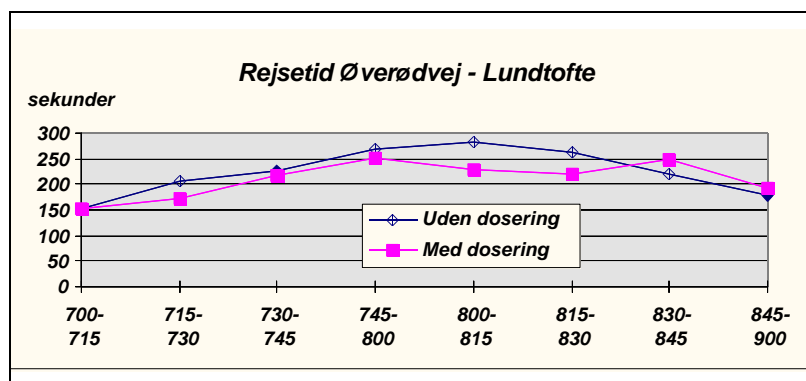


Figur 6. Hastighed før rampen med dosering hhv. slukket og tændt.



Figur 7. Hastighed efter rampen med dosering hhv. slukket og tændt.

ra et punkt 1,8 km før Nærum (Øverødvej) til et punkt 2 km efter (Lundtofte) er strækningen gennemkørt med en målebil over en række dage i perioden fra kl. 7 til kl. 9. I alt er der med dosering i drift foretaget 59 gennemkørsler på 5 dage og 51 gennemkørsler på 5 dage med



Figur 8. Rejsetider kl. 7-9 fra Gammel Holte til Lundtofte med og uden doseringsanlægget i drift.

slukket doserings- anlæg. På nogle dage er kørslerne dog startet ved Iste-rødvej, ca. 8 km før Nærum-rampen. Ved kørselsmålingerne er hastigheden og den tilbagelagte afstand lagret for hvert 5. sekund. Herved er det muligt at optegne et hastighedsprofil for hver kørsel.

Et eksempel for hastighedsprofilerne den 27 marts er vist på figur 2. Det ses, at det kun er den første kørsel (kl. 7.14), der er gennemført nogenlunde uforstyrret. Alle øvrige kørsler er mere eller påvirket af køproblemerne pga. ramperne ved Gl. Holte og Nærum.

Den samlede rejsetid for kørslerne mellem Gl. Holte og Lundtofte er vist på figur 8 for de dage, som er medtaget i undersøgelsen. For at undgå påvirkningerne af de ofte kaotiske forhold ved sammenfletningen ved tilslutningen fra Gl. Holte har målingerne på figur 8 sit udgangspunkt ca. 300 m efter tilslutningen ved Gl. Holte. Data er opgjort på kvartersniveau, således at alle ture, der starter i samme kvartersinterval er midlet.

Det ses, at doseringsanlægget allerede fra kl. 7.15, hvor det typisk går i drift, har en effekt på hastigheden for motorvejstrafikanterne. Denne effekt er tilsyneladende størst i perioden kl. 8.00-8.30, hvor besparelsen ved rampedosering er ca. 50 sek. pr. køretøj på motorvejen. Den tilsyneladende negative effekt ved rampedosering i slutningen af myldretiden kan ikke forklares, men skyldes formentlig ukendte forhold, der ikke har med forsøget at gøre. For morgenmyldretidsperioden mellem kl. 7.15 og 9.00 er den gennemsnitlige tidsbesparelse 23 sekunder pr. motorvejstrafikant, svarende til 4 km/t for hele strækningen fra Gl. Holte til Lundtofte. Dette stemmer fint overens med resultaterne fra målestationerne før og efter rampen ved Nærum.

6. Effekter for rampetrafikanter

Ved at etablere et signalanlæg for rampetrafikken påføres denne en vis forsinkelse. Under forsøget har der ikke været gennemført målinger af dette forhold. Fra tidligere undersøgelser (Ref. 2) er der lavet en undersøgelse af denne parameter. Den 18. juni 1993 blev der registreret kølængder på rampen med et interval på 15 sek. Desværre var dataopsamlingssystemet ude af drift denne dag. Ved at benytte data fra den tilsvarende dag et år senere (17. juni 1994) kan forsinkelsen bestemmes. Den 18. juni 1993 var doseringsanlægget i drift fra kl. 7.50 til kl. 8.06 og igen fra kl. 8.12 til kl. 8.25. I disse perioder kan den gennemsnitlige forsinkelse opgøres til hhv. 102 og 62 sekunder. Det er i øvrigt meget usædvanligt, at doseringen er aktiv i to perioder inden for samme myldretid. Uden for disse perioder er rampetrafikken noget mindre og forsinkelserne derfor tilsvarende mindre.

Når køen bliver meget lang, kan den maksimale ventetid nå op på ca. 3 minutter. Når dette sker, træder der en sikkerhedsventil i kraft i form af en reduceret omløbstid på doseringssignalet og dermed udslusning af flere køretøjer fra rampen mod motorvejen, indtil køen er reduceret tilstrækkeligt. Den gennemsnitlige ventetid på rampen i myldretiden kl. 7-9 anslås til 45 sekunder.

7. Rødkørsel

Kørsel mod rødt registreres automatisk ved at sammenholde passagen af "start rødt"-detektoren efter stoplinien med signalvisningen. Data for 6 dage i perioden 1. marts til 8. marts 1996 viser, at 3-5% af bilisterne passerer stoplinien, så de bliver registreret som rødkørere.

8. Samlede effekter

En opgørelse for den 3,6 km lange strækning for perioden kl. 7.15-9.00, hvor doseringsanlægget normalt er i drift, viser følgende tidsbesparelser:

Pr. hverdagsdøgn	Antal ktj.	Ændring	Tid		Brændstof		Besparelse kr.
			timer	kr.	liter	kr.	
Motorvejen	5936	-23 sek.	- 38,2	2.295	122,5	247	2.542
Rampe	876	+60 sek.	+ 14,6	777	23,7	48	825
I alt			- 23,6	2.218	99,0	199	1.717

Med doseringsanlægget i drift sparer motorvejstrafikanterne 38,2 køretøjstimer pr. dag mod et tab for rampetrafikanterne på i alt 14,6 køretøjstimer. Med 220 dage om året bliver den samlede årlige tidsbesparelse ca. 5.200 timer. Med Vejdirektoratets enhedspriser (1994-niveau) kan værdien af tidsbesparelsen opgøres under hensyntagen til turformål for personbiler og buspassagerer samt gennemsnitlig belægningsgrad pr. personbil og bus på hhv. 1,3 og 20. I alt er værdien af nettotidsbesparelsen kr. 1.518 pr. dag, svarende til kr. 334.000 pr. år.

Energiforbruget for motorvejstrafikanterne falder med i alt 123 liter brændstof pga. af kørsel med en mere økonomisk hastighed (44 km/t mod 40 km/t) på den 3,6 km lange strækning. Til gengæld bruger rampetrafikanterne 24 liter benzin ekstra pga. tomgangskørsel ved doseringssignalet. Nettobesparelsen er 99 liter brændstof pr. dag, svarende til 21.200 liter pr. år. Med en benzinpris ekskl. afgifter på kr. 2,02, bliver værdien af sparet brændstof ca. kr. 43.000 pr. år. Den samlede samfundsmæssige besparelse med doseringsanlægget i drift er således kr. 377.000 årligt, hvilket skal sammenholdes med anlægsinvesteringen på kr. 600.000. Til den årlige besparelse skal yderligere lægges værdien af sparet emission fra køretøjerne. En sådan opgørelse er dog ikke foretaget.

9. Konklusion og sammenfatning

Effekten af rampedoseringen ved Nærum har en positiv effekt på hastigheden omkring doseringsanlægget. Ved to målepunkter på motorvejen omkring rampen er hastigheden forøget med 5-10 km/t, mest før rampen. Gennemkørsler med en målebil på motorvejen viser

en maksimal rejsetidsgevinst på ca. 1 minut med en mere homogen hastighed, når doseringsanlægget er i drift. I gennemsnit vinder en motorvejstrafikant i myldretiden 23 sekunder, når doseringsanlægget er i drift, svarende til en hastighedsforøgelse på 4 km/t over en 3,6 km lang strækning. Rampetrafiganterne bliver i samme tidsrum påført en forsinkelse på 0-3 minutter. Middel-ventetiden anslås til 1 minut. For hver dag, doseringen er i drift, spares ca. 100 liter brændstof, der sammen med værdien af sparet tid, giver en årlig samfundsmæssig besparelse på ca. kr. 375.000.

Målinger viser, at rampedoseringen ved Nærum ikke har forøget gennemstrømningen af køretøjer. Dette gælder både i perioden før og under en situation med trafiksammenbrud (langsom køkørsel på motorvejen).

Referencer:

1. Svend Andersen:
Rampedoseringsanlæg i Nærum, Dansk Vejtidskrift nr. 9, 1992
2. Puk Nilsson og Alice Stougaard:
Rampedoseringsanlæg, Kursusarbejde, IVTB, DTU, juni 1993.
3. Nicoline Jørgensen:
Rampedoseringsanlæg ved Nærum
Institut for Planlægning, DTU, juni 1996