

**KATALOG**

**Virkemidler til fartdæmpning ved  
vejarbejde på motorveje og andre  
højklasseveje**

**Testede eksempler fra ind- og udland**



Lene Herrstedt

17. november 2016

<p><b>Titel:</b> Virkemidler til fartdæmpning ved vejarbejde på motorveje og andre højklasseveje. Testede eksempler fra ind- og udland.</p> <p><b>Forfatter(e):</b> Lene Herrstedt</p> <p><b>Publiceringsdato:</b> 17. November 2016</p> <p><b>Sprog:</b> dansk</p> <p><b>Antal sider:</b> 54</p> <p><b>Rekvirent/finansiel kilde:</b> Vejdirektoratet</p> <p><b>Projekt:</b> IDE-Udvikling vedr. brugbare metoder til Fartdæmpning ved vejarbejde på motorveje og andre højklasseveje.</p> <p><b>Kvalitetssikring:</b> LH, BL</p> <p><b>Emneord:</b> Hastighedsdæmpning, Trafiksikkerhed, Vejarbejde, Metoder</p> <p><b>Resumé:</b></p> <p>Dette katalog indeholder en præsentation af en række eksempler på afprøvede virkemidler til fartdæmpning ved vejarbejde på motorveje og andre højklasseveje.</p> <p>For hvert eksempel gives en kort beskrivelse af virkemidlet samt en kort opsamling af evalueringresultater og erfaringer med brugen heraf.</p> <p>Kataloget er tænkt som en dynamisk oversigt af virkemidler, hvor der kan tilføjes nye eksempler og evt. ny viden om de eksisterende eksempler, efterhånden som der fremkommer ny evalueringssdokumentation.</p> <p>Den første udgave fra december 2014 inkluderede alene testede danske eksempler. Denne opdaterede udgave af kataloget inkluderer både danske og udenlandske eksempler.</p> <p>Kataloget er en del af projektet "<i>IDE-Udvikling af brugbare metoder til fartdæmpning ved vejarbejde på motorveje og andre højklasseveje</i>", som Vejdirektoratet har gennemført i perioden 2011 - 2016.</p>	<p><b>Title:</b> Methods for speed reduction at road works on motorways and other high class roads. National and international experiences from tested examples.</p> <p><b>Author(s):</b> Lene Herrstedt</p> <p><b>Report date:</b> 17. November 2016</p> <p><b>Language:</b> Danish</p> <p><b>No. of pages:</b> 54</p> <p><b>Client/financial source:</b> Danish Road Directorate</p> <p><b>Project:</b> Development of usable methods for speed reduction at road works on motorways and other high class roads.</p> <p><b>Quality management:</b> LH, BL</p> <p><b>Key words:</b> Speed reduction, Road safety, Road work, Methods</p> <p><b>Abstract:</b></p> <p>The Report presents a number of tested measures for speed reduction at road works on motorways and other high class roads.</p> <p>Each measure is described and illustrated in photos. Effects and experiences so far are summarized very shortly.</p> <p>The report is a dynamic overview of usable methods which can easily be updated by adding new tested examples or new knowledge about the included measures according to requirement.</p> <p>The first edition from December 2014 only included experiences from Danish examples. This updated second edition include Danish examples as well as international examples.</p> <p>The report is a part of the project "<i>Development of usable methods for speed reduction at road works on motorways and other high class roads</i>", carried out by The Danish Road Directorate during the period 2011-2016.</p>
<p>Rapporten kan hentes fra <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>.</p> <p>Copyright © Trafitec</p> <p>Ved gengivelse af materiale fra publikationen skal fuldstændig kildeangivelse udføres.</p>	<p>The report can be acquired from <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>.</p> <p>Copyright © Trafitec</p> <p>Reprinting material from this publication must include a complete reference to original source.</p>

# Indhold

<b>Indledning.....</b>	<b>5</b>
<b>Danske eksempler .....</b>	<b>7</b>
1. Smalle kørespor .....	7
2. Korridor med N42-tavler .....	9
3. Port & Kegle .....	12
4. Mobile rumlestribes .....	14
5. Faste rumlestribes .....	16
6. Faste rumlestribes med og uden Din Fart Tavle .....	18
7. ”Sænk Farten”/”Din Fart” – Tavler .....	20
8. ATK – Automatisk Trafikkontrol.....	22
9. Elektroniske og faste C55-hastighedstavler.....	25
10. VMS tavler til fartdæmpning ved arbejdsførsel ud fra midterrabat.....	26
11. Høj tavlevogn.....	27
12. Mobilt arbejdslys (PowerMoon) ved vejarbejde i mørke.....	30
13. Radiokegle .....	31
<b>Udenlandske eksempler .....</b>	<b>33</b>
14. Mobilt køvarslingssystem.....	33
15. Variable tavler ved periodisk vejarbejde .....	35
16. Optiske hastighedslinjer.....	37
17. Drone Radar.....	43
18. Lods .....	44
19. Chikaner.....	45
20. Synligt politi ved vejarbejde.....	48
21. Audio Warning .....	50
22. ”Flagging”.....	51
<b>Referencer .....</b>	<b>53</b>



## Indledning

Dette katalog indeholder en præsentation af en række eksempler på afprøvede virkemidler til fartdæmpning ved vejarbejde på motorveje og andre højklasseveje.

For hvert eksempel gives en kort beskrivelse af virkemidlet samt en kort opsamling af evalueringsresultater og erfaringer med brugen heraf.

Kataloget er tænkt som en dynamisk oversigt af virkemidler, hvor der kan tilføjes nye eksempler og evt. ny viden om de eksisterende eksempler, efterhånden som der fremkommer ny evalueringsdokumentation.

Den første udgave af kataloget fra 2014 [0] indeholdt alene danske eksempler. Denne opdaterede anden udgave af kataloget inkluderer også udenlandske eksempler.

Kataloget er en del af projektet ”IDE-Udvikling af brugbare metoder til fartdæmpning ved vejarbejde på motorveje og andre højklasseveje”, som Vejdirektoratet igangsatte i foråret 2011. I reference [1] og [4] gives en kort beskrivelse af baggrund og en oversigt med de forskellige trin i det samlede projekt.

Denne opdaterede anden udgave af kataloget publiceres kun elektronisk. Der er tale om et dynamisk katalog, der fortsat kan opdateres i nye udgaver efter behov.

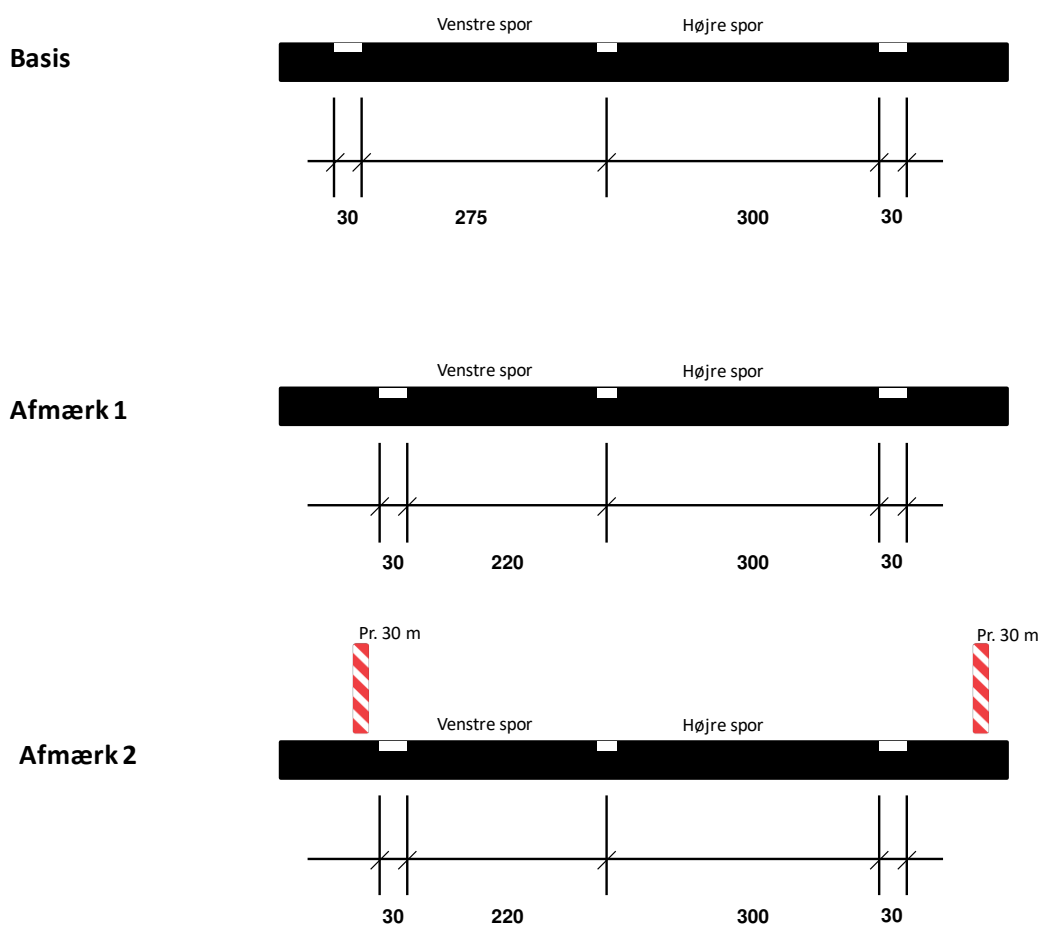


# Danske eksempler

## 1. Smalle kørespor

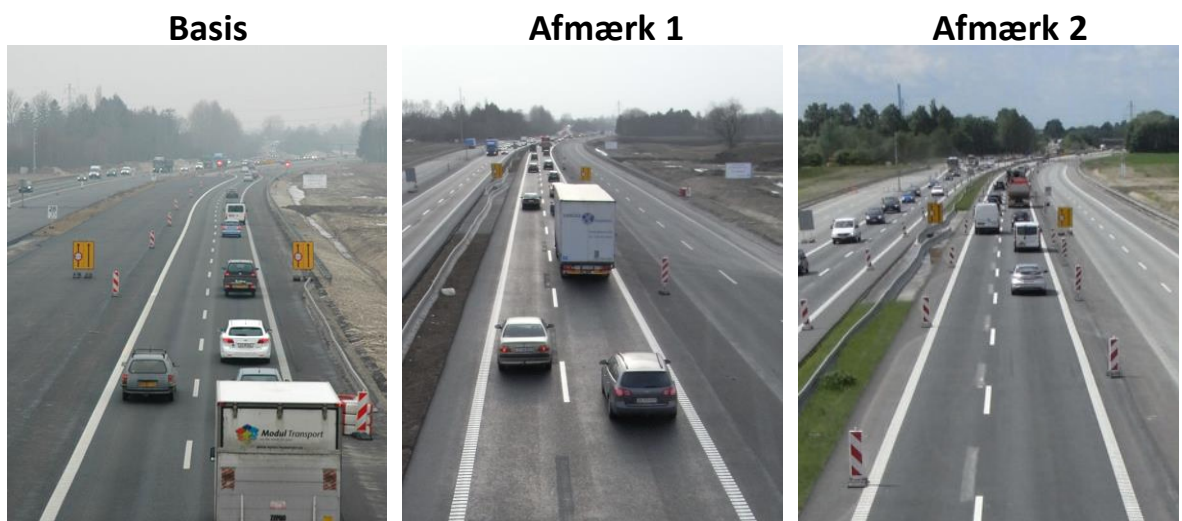
I forbindelse med et større vejarbejde på Holbækmotorvejen (M11) blev der i 2011 gennemført forsøg med reduceret sporbredde for det venstre kørespor på en ca. 1100 meter lang strækning.

Forsøget blev evalueret ud fra målinger på tre forskellige opstillinger. En *Basis* opstilling, som er det oprindelige tværsnit, samt to opstillinger (*Afmærk1* og *Afmærk2*) som begge har en reduceret sporbredde for det venstre kørespor. *Afmærk2* har endvidere N42 kantplader placeret helt tæt ved venstre kantlinje. De blev sat med 30 m mellemrum. Tilsvarende blev der opstillet N42 kantplader langs højre kantlinje i en afstand på ca. 1 m fra linjen. De tre opstillinger er skitseret herunder.



Resultaterne af evalueringen [2] viste:

- Ved lille trafikintensitet blev hastigheden reduceret med 0-2 km/t ved *Afmærk1* set i forhold til *Basis*, og hastighedsreduktionen var lidt større ved *Afmærk2* (specielt i det venstre spor).
- Ved stor trafikintensitet blev hastigheden reduceret en smule ved *Afmærk1*, men blev reduceret med 5-10 km/t ved *Afmærk2* i forhold til *Basis*.
- Hastighedsforskellen mellem højre og venstre spor blev reduceret fra i gennemsnit 9 km/t i *Basis* til 8 km/t i *Afmærk1* og 5 km/t for *Afmærk2*.
- Trafikafviklingen er vurderet ud fra den maksimalt målte gennemstrømning ved spidsbelastning og den beregnede kapacitet ud fra speed-flow kurver. Der blev målt en reduktion i kapacitet på 1-2% for *Afmærk1* og 5-6% for *Afmærk2* i forhold til *Basis*.
- Ved *Afmærk1* og *Afmærk2* blev observeret en øget brug af det højre kørespor. Stigningen var på ca. 2-5 % i forhold til *Basis* og størst for *Afmærk2*.
- Køretøjernes sideværtsplacering blev påvirket af de reducerede sporbredder. Ved høj trafikintensitet blev afstanden mellem køretøjer i venstre og højre spor reduceret med 9 cm for *Afmærk1* og 14 cm for *Afmærk2* i forhold til *Basis* opstillingen.
- Antallet af køretøjer, der kørte på eller overskred den venstre kantlinje i *Afmærk1* steg markant i forhold til *Basis*. Ved *Afmærk2*, hvor der er N42 tæt ved kantlinjen, blev der ikke observeret overskridelser, og antallet af køretøjer, der kørte på kantlinjen var på niveau med *Basis* situationen.





## 2. Korridor med N42-tavler

Med det formål at forstærke den fartdæpende effekt i forbindelse med vejarbejde, hvor der foretages vognbanereduktion fra 2 til 1, blev der på Skovvejen (Rute 23), maj/juni 2013, gennemført en række tests med indsnævring af kørearealet, som supplement til standardafmærkningen (DRI-261) ved vejarbejde på motorvej [5].

Indsnævringen blev etableret som en korridor ved brug af 2 meter høje N42-tavler. Indsnævringen blev testet på en strækning UDEN overledning (etape 1) og på en strækning MED overledning af trafikken til modsatrettede vognbanehalvdelen (etape 2).

På strækningen UDEN overledning var hastighedsbegrænsningen 80 km/t, mens hastighedsgrænsen på strækningen MED overledning blev nedskiltet fra 80 km/t til 50 km/t cirka midt på strækningen, før overledningen. I tilknytning til begge etaper blev trafikanternes hastighed undersøgt ved to forskellige tætheder for opstilling af N42-tavler i korridoren (15 m og 7,5 m) samt på en referencetrækning.



Figur 2.1: Korridorstrækningen med de 2 meter høje N42-tavler opstillet med 7,5 meters afstand på etape 1 (nederst) og tilhørende referencetrækning med standardafmærkning DRI-261 (øverst).

Korridorbredden var 3,65 meter, hvilket er minimum af hensyn til brede køretøjer. Korridorlængden var 160 meter (etape 1 UDEN overledning) og 150 meter (etape 2 MED overledning). De første cirka 15 meter af korridoren blev lavet tragtformet. Afstanden mellem de to tavlevogne ved indgangen til korridoren (etape 2) var 4,5 meter (se Figur 2.2).



Figur 2.2: Korridorstrækningen på etape 2. Indgangen til korridoren er her markeret med to tavlevogne placeret med 4,5 meters afstand. Nederst ses den 3,65 meter brede korridor midt på korridorstrækningen etableret med de 2 meter høje N42 tavler.

Der er målt hastigheder i fem udvalgte snit for hver af de to tætheder af korridoropstillingerne hhv. MED og UDEN overføring af trafik samt for de tilhørende referenceopstillinger.

*Resultaterne af testen for Korridor UDEN overledning (etape 1) viste, at:*

- De to korridoropstillinger (tæthed 15 m og 7,5 m) havde en reducerende effekt på gennemsnitshastigheden på omkring 4-6 km/t både før, under og efter passage af teststrækningen - uanset tidspunkt på døgnet.
- Om N42 korridorens tæthed var 15 m eller 7,5 m havde ikke den store betydning i dagtimerne, mens effekten i nattetimerne var størst for tætheden på 15 m.

*Resultaterne af testen for Korridor MED overledning (etape 2) viste, at*

- Gennemsnitshastigheden blev reduceret med omkring 3-4 km/t i alle målesnit før overledningen - i dagtimerne. Effekten af korridoropstillingerne var knap så stor efter passage af overledningen samt generelt i nattetimerne.
- Uanset om N42 korridorens tæthed var 15 m eller 7,5 m var gennemsnitshastigheder og 85% fraktiler generelt meget ensartet for korridoropstillingerne i både dag- og nattetimerne. Eneste undtagelse var ved overledningen, hvor 85% fraktilen i nattetimerne lå 4 km/t lavere for en tæthed på 15 m sammenlignet med en tæthed på 7,5 m.

### 3. Port & Kegle

I forbindelse med autoværnsarbejde i midterrabat på 4-sporet motorvej om natten, har Vejdirektoratet testet et nyt afmærkningskoncept kaldet "Port & Kegle" [3]. Teststrækningen var Øresundsmotorvejen (E20).

Hastighedsgrænsen på motorvejen blev trinvis nedskiltet til 70/80 km i en afstand af 200 meter før sporreduktionen, som var forvarslet på en E16.2 tavle i en afstand af 400 meter.

To tavlevogne blev placeret ved sporreduktionens begyndelse, én på hver side af det højre kørespor, så de tilsammen danner en port til arbejdsområdet (se figur 3.1). Tavlevognen i højre side var placeret i nødsporet helt op til kantlinjen.



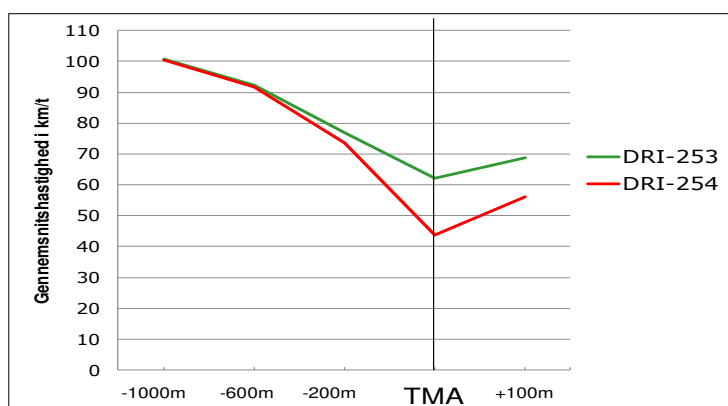
Figur 3.1: De to tavlevogne danner tilsammen en "port", der videreføres i en korridor etableret af to rækker markeringskegler N44.

De to tavlevogne var begge forsynet med blinkende pile samt 2 blink på bjælken. Blinkfrekvenserne på de to vogne skal være synkroniserede. Keglerne, der er 0,75 m høje og forsynet med fluorescerende overflade, var opstillet med 15 meters afstand i forlængelse af de to tavlevogne. Dermed fortsatte "porten", som de to tavlevogne danner ved arbejdsområdets start, i en "kegle korridor" forbi hele arbejdsområdet.

Det nye afmærkningskoncept "Port & Kegle" (DRI-254) blev testet i relation til det gamle koncept (DRI-253), hvor der ikke var nogen afmærkning i højre side af køresporet forbi arbejdsområdet, og hvor afgrænsning af venstre side var foretaget med den almindelige cylinderkegle. Der blev målt hastighed i 5 tværsnit gennem forløbet.

*Resultatet af testen viste:*

- Hastigheden var generelt lavere for den nye afmærkning (Port & Kegle/DRI-254) sammenlignet med den gamle (DRI-253). Gennemsnitshastigheden ved porten (målesnit ud for TMA) blev reduceret med 18 km/t fra 62 km/t til 44 km/t (se figur 3.2).
- Samtidig blev andelen af de trafikanter, der overskred den skilte hastighed reduceret til  $\frac{1}{4}$  (fra 36 % til 9 %). Hastighedsreduktionen de sidste 200 m før porten var 15 km/t for "den gamle" og 30 km/t for "den ny" afmærkning.
- Med det gamle koncept kunne der jævnligt registreres overskridelser af kantlinjen i højre side, hvor der blev kørt med det ene hjulpar i nødsporet. Det forekom ikke med det nye "Port & Kegle" koncept.



Figur 3.2: Hastighedsprofiler for "det gamle" DRI-253 og det nye "Port & Kegle" koncept DRI-254.

På baggrund af resultaterne er afmærkningskonceptet implementeret i Vejregler for afmærkning af vejarbejder på motorveje i oktober 2013.

#### 4. Mobile rumlestribes

Mobile rumlestribes blev testet i forbindelse med et vejarbejde på Hillerødmotorvejen (rute 16) i september 2012 [6]. Testen inkluderede udlægning af mobile rumlestribes både alene og i kombination med budskabet "SÆNK FARTEN" vist på VMS-tavle ved for høje hastigheder (Figur 4.1). Opstillingerne blev testet på en ca. 600 meter lang strækning, hvor hastigheden forud for vejarbejdet blev nedskiltet fra 90 km/t til først 70 km/t og dernæst 50 km/t.



Figur 4.1: De mobile rumlestribes er udlagt alene (øverst) og i kombination med budskabet "Sænk Farten" vist på VMS-tavle ved for høje hastigheder (nederst).

De mobile rumlestribes er et amerikansk produkt (Road Quake) lavet i et tungt plastikmateriale. De er 1,8 cm høje. De klikkes sammen til passende længder af 1 meter lange stykker. De er ikke fastgjort til vejoverfladen. De ligger alene ved egen vægt.

I testen blev de i første omgang udlagt med 3 striber af hver 3 meters længde i hvert kørespor. Det viste sig hurtigt, at de ikke blev liggende. Derfor blev de i stedet for udlagt som 3 rumlestribes á 6 meters længde placeret på tværs af begge kørespor og med indbyrdes afstand på først 1,5 meter og dernæst 4 meter.

**Resultater af observationerne undervejs i testen:**

- Rumlestribene blev forskubbet af trafikken. De blev skubbet mest i det højre kørespor, hvor de tunge køretøjer er. Det er også her trafikmængden var størst.
- Når tunge køretøjer passerede rumlestribene, kunne der for hver hjulpassage ses en lille flytning af rumlestribene i køreretningen.
- Rumlestribene blev skubbet mest i området omkring 70 km tavlen og lidt mindre omkring 50 km tavlen.
- Der blev observeret bremsespor fra tunge køretøjer ved stribene i højre kørespor, muligvis som følge af en bevidst saboterende adfærd, som man kender fra f.eks. slangemålinger.
- Det blev flere gange observeret, at personbiler fra det højre kørespor kørte ud i nødsporet for at undgå passage af rumlestribene

**Resultater af hastighedsmålinger:**

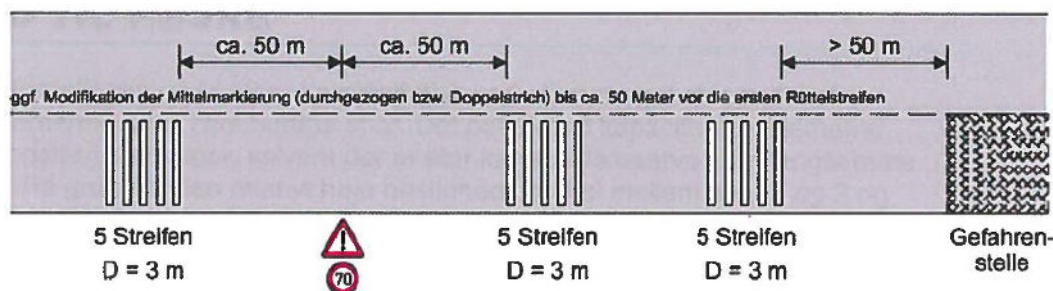
- Hastighedsændringerne, som følge af rumlestribene, var generelt små, uanset opstilling.
- Der kunne ikke påvises nogen forskel i hastighedsadfærden afhængig af, om rumlestribene var placeret med 1,5 m eller 4 m indbyrdes afstand.
- Der kunne heller ikke påvises nogen forskel i hastighedsadfærden afhængig af, om sænk farten tavlen var placeret før eller efter rumlestribene.
- Der var ikke nogen entydig forskel i hastighedsadfærden afhængig af, om rumlestribene var udlagt ved 70 km/t eller ved 50 km/t tavlerne.
- Sænk farten tavlen havde generelt en positiv effekt, idet hastigheden blev reduceret med 5-10 km/t, når den var med i opstillingen.

På baggrund af testresultaterne må det konstateres, at de testede mobile rumlestriber kun er egnede til brug i forbindelse med meget kortvarige vejarbejder og ved relativt lave hastigheder omkring 50 km/t eller derunder. De er således ikke særlig velegnede til brug i forbindelse med vejarbejde på motorveje.

Det kan dog ikke udelukkes, at der findes andre typer af mobile rumlestriber, som kan bruges.

## 5. Faste rumlestriber

På Køge Bugt motorvejen blev der i august 2014 etableret rumlestriber på 4 lokaliteter (Felt 1, Felt 2, Felt 3 og Felt 4), hvor der er 3 vognbaner i hver køreretning. Stribedesignet er valgt ud fra tysk praksis (se figur 5.1).



Figur 5.1: Det tyske stribedesign

På 3 af lokaliteterne blev striberne alene udlagt i venstre vognbane (se figur 5.2), og på 1 af lokaliteterne (Felt 2) blev striberne udlagt både i venstre og i midterste vognbane.

Højden på de udlagte striber var 1,0 cm i Felt 1 og Felt 3. På de to andre lokaliteter Felt 2 og Felt 4 var sribehøjden 1,5 cm. Der var således tale om relativt høje striber, som ikke kan passeres uden mærkbare vibrationer i bilerne.

Evaluering af hastighedseffekten blev baseret på detektormålinger af hastighed over 2 hverdage både før og efter etablering. Som supplement til hastighedsmålingerne blev der ved Felt 4 foretaget adfærdsregistreringer med hensyn til vognbaneskift fra venstre vognbane mod højre på delstrækningen med rumlestriber. Adfærdsregistreringerne blev foretaget ud fra videooptagelser over 3,5 time midt på dagen og inkluderede 745 observerede køretøjer.

Resultaterne [9] viste:

- Der kunne ikke påvises nogen generel éntydig effekt på hastigheden forårsaget af rumlestriberne. For nogle felter var hastigheden reduceret og for andre kunne ses en lille stigning. Der var tale om små forskelle.
- For de to felter (Felt 2 og Felt 3) med de mest pålidelige detektormålinger henholdsvis før og efter etablering af rumlestriber, kan konstateres et fald i gennemsnitshastigheden på 1-2 km/t. Samme ændring ses for 85%-fraktilen.
- For Felt 4 blev detektorerne desværre flyttet mellem før og efter perioden for målinger af hastighed. En sammenligning af måleresultater før og efter er derfor forbundet med meget stor usikkerhed. Forudsat at de målte ha-



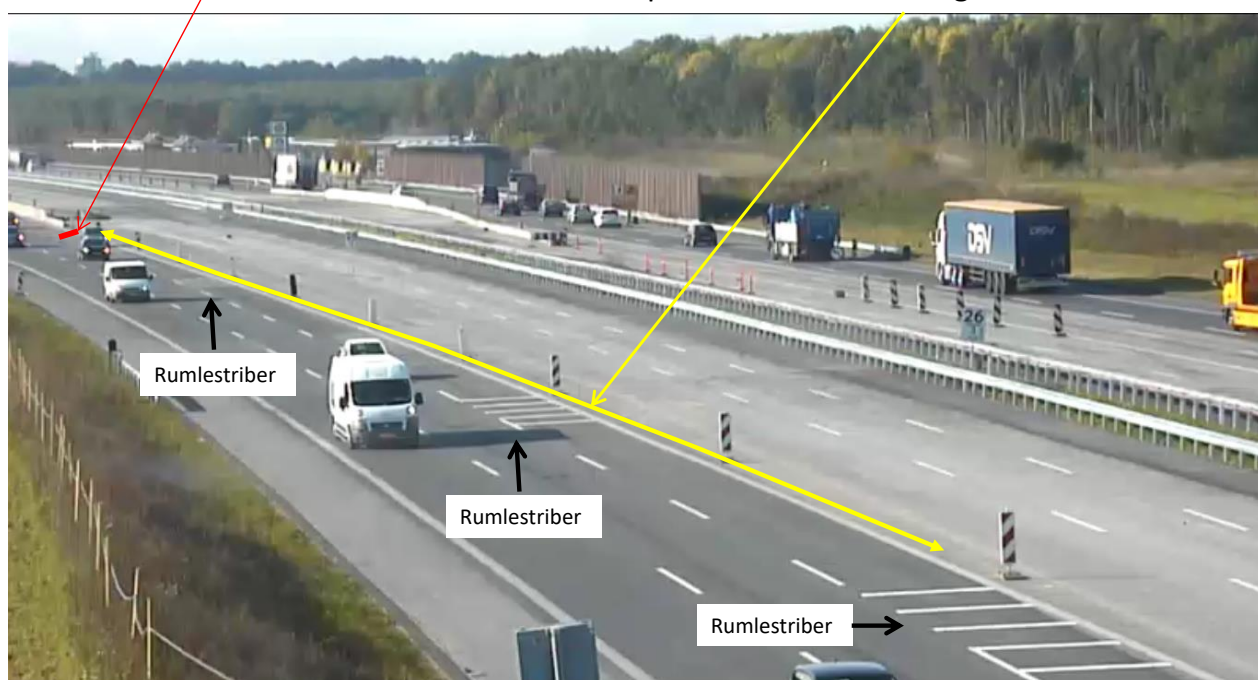
stigheder før og efter – til trods herfor – er sammenlignelige, var hastigheden i efterperioden ca. 5 km/t lavere både dag og nat.

- Der var ikke nogen tydelig forskel på hastighed afhængig af, om rumlestribernes højde var 1 cm eller 1,5 cm.
- Adfærdsobservationerne viste, at 24% af de trafikanter, der kørte i venstre spor umiddelbart før rumlestriberne, valgte at foretage et vognbaneskift mod højre på strækningen med rumlestriber. Etablering af rumlestriber synes således at være et tiltag, der kan bruges til at påvirke sporbenyttelsen.

En medvirkende forklaring på den relativt beskedne effekt på hastigheden kan være, at en mærkbar andel af trafikanterne valgte at skifte vognbane og dermed køre uden om rumlestriberne.

Antal køretøjer i venstre spor  
i dette snit

Antal køretøjer der skifter vognbane  
fra venstre spor -> midt spor  
på denne delstrækning



Figur 5.2: Teststrækning med rumlestriber udlagt i venstre spor med markering af tællesnit.

## 6. Faste rumlestriber med og uden Din Fart Tavle

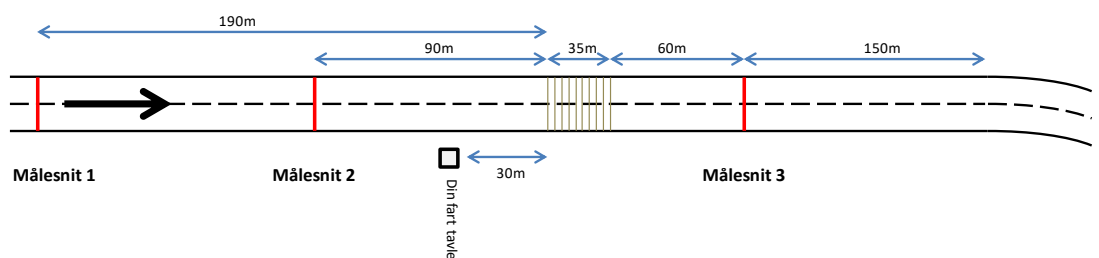
I forbindelse med anlægsarbejdet på motorvejen E20 ved Slagelse blev der etableret en midlertidig vejstrækning, der førte motorvejstrafikken uden om arbejdsområdet.

Ved overgangen til denne midlertidige strækning blev der etableret *faste rumlestriber i kombination med en Din Fart Tavle* for at nedsætte hastigheden. Den skilte hastighed på strækningen var 80 km/t.



Figur 5.1: Faste rumlestriber på E20 umiddelbart før overgangen til den midlertidige vejstrækning, der førte trafikken uden om arbejdsområdet.

Undersøgelsen af den hastighedsdæmpende effekt er baseret på registrerede hastigheder i målesnit placeret henholdsvis ca. 100 m og ca. 200 m før rumlestriberne, samt ca. 50 m efter rumlestriberne (se Figur 5.2)



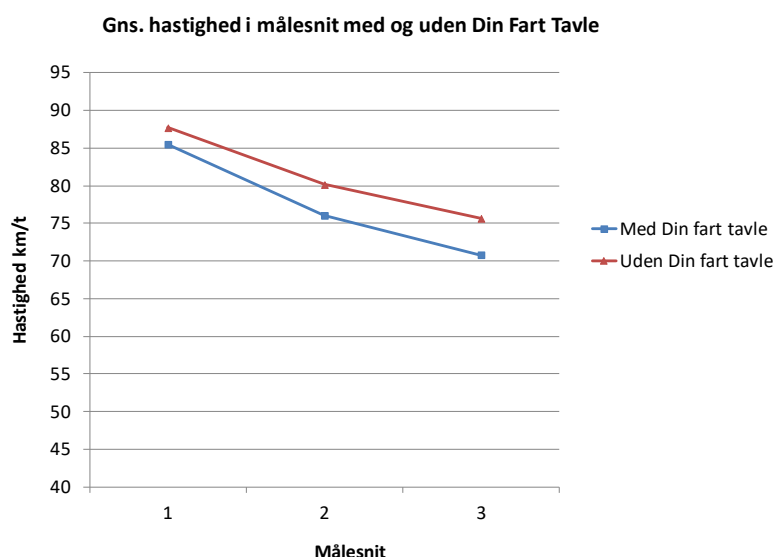
Figur 5.2: Skitse af strækning med angivelse af målesnit

Der er målt hastigheder over et helt døgn, hvor Din Fart Tavlen var aktiv samt i et helt døgn, hvor Din Fart Tavlen var deaktiveret (og nedtaget).

Der blev registreret ca. 15.000 køretøjer i perioden med aktiv tavle og ca. 16.000 køretøjer i perioden, hvor tavlen var nedtaget. Trafikken har således været nogenlunde ensartet i de to måledøgn.

Resultaterne [8] viste:

- Hastigheden mellem det første og sidste målesnit blev reduceret med 15 km/t når Din Fart Tavlen var aktiveret. I perioder, hvor Din Fart Tavlen var nedtaget, var hastighedsreduktionen 12 km/t (se figur 5.3).
- Målingerne viste således, at de faste rumlestriber havde en hastighedsdæmpende effekt, og at denne effekt forstærkedes, når striberne var suppleret med Din Fart Tavle.
- Andelen af bilister, der overskred hastighedsgrænsen, blev målt til 65% - 70% i det første målesnit, mens den i det sidste målesnit var 18% og 34% for henholdsvis aktiv og deaktiv/nedtagede Din Fart Tavle.



Figur 5.3: Målt gennemsnitshastighed i de tre målesnit med/uden aktivering af Din Fart Tavle.

Det skal dog bemærkes, at hastighedsniveauet generelt var lavere i perioden, hvor Din Fart Tavlen var aktiv, hvilket også gælder det første målesnit, hvor effekten af Din Fart Tavlen formodes at være lille. Effekten af Din Fart Tavlen er derfor muligvis en smule overvurderet i resultaterne.

## 7. "Sænk Farten"/"Din Fart" – Tavler

Digitale tavler med hastighedsbudskaberne "Sænk Farten" og "Din hastighed" har været testet i en række forskellige projekter - også som virkemiddel til fartdæmpning ved vejarbejder på motorveje.

Forsøg på Hillerødmotorvejen i efteråret 2012 viste, at "Sænk farten tavlen" havde en klar hastighedsdæmpende effekt. Hastigheden blev reduceret med 5-10 km/t, når tavlen var med i afmærkningen [6].



Figur 7.1: Sænk farten tavle ved vejarbejde på Helsingørmotorvejen ved Farum.

Forsøg på motorvejen E20 ved Slagelse i 2011 [8] med "Din Fart Tavle" viste, at tavlen havde en hastighedsreducerende effekt.



Figur 7.2: "Din Fart Tavle" på motorvej E20.

Resultaterne viste, at når Din Fart Tavle var aktiveret, blev den hastighedsreducerende effekt af faste rumlestriber forstærket med 3 km/t (fra 12 km/t til 15 km/t).

Andelen af bilister, der overskred hastighedsgrænsen efter passage af de faste rumlestriber, blev reduceret fra 34 % til 18 %, når Din Fart Tavlen var aktiveret.

### Amerikanske undersøgelser

Anvendelse af Din Fart tavler i forbindelse med vejarbejde er også evalueret i andre lande (se figur 7.3). En række amerikanske studier [14] og [20] viser, at der kan opnås en hastighedsreduktion på mellem 2-13 km/t (1-8 mph) på strækningen lige omkring tavlens placering. De amerikanske undersøgelser viser divergerende resultater med hensyn til hvor lang tid effekten kan opretholdes. I en undersøgelse fra 2003 konkluderede Wang et al., at effekten holdt tre uger efter opsætning. I to andre undersøgelser af Meyer (2004) og Chen et al. (2007) blev det konkluderet, at effekten var kortvarig og at hastighedsreduktionen hurtigt aftog.

Figur 7.3: "Din Fart/Your Speed" vises på den digitale tavle sammen med den skiltede hastighedsgrænse, som her er 35 mph (56 km/t)



Andre tilsvarende budskaber til bilister, der kører for hurtigt, er også testet. Det drejer sig om "Slow Down" (Sænk Farten) og "You are Speeding" (Du kører for stærkt). Hastighedsreduktionerne er målt til 2-6 km/t.



Figur 7.4: System med nummerpladegenkendelse og direkte "feed back" til bilisten, der kører for stærkt hen mod et vejarbejde er testet i Californien (USA).

Et forsøg med variable tavler (se figur 7.4), der viser hastighedsgrænsen 55 mph (89 km/t) hen mod et vejarbejde skifter til et direkte budskab med angivelse af nummerplade og målt hastighed, når bilister kører for hurtigt. Systemet blev testet i Californien i 2012.

Resultaterne fra en 8 ugers felttest viste [14], at andelen af bilister, der kørte forbi vejarbejdet med 65 mph (105 km/t) eller derover faldt med 10 %. Samtidig fandt man at 6 % flere kørte forbi med en hastighed mindre end 60 mph (97 km/t).

## 8. ATK – Automatisk Trafikkontrol

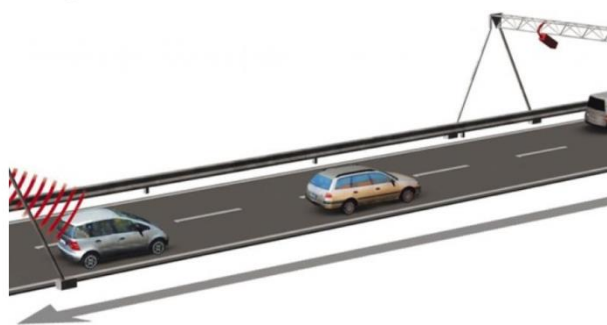
Automatisk Trafikkontrol (ATK) kan laves enten som en punkt-ATK eller som strækings-ATK.

Punkt-ATK er enkelte standere eller serier af standere langs vejen, der ved hjælp af nedfræsedede spoler måler køretøjernes punkthastighed ved passagen. Såfremt den målte hastighed er højere end en fastsat grænse, udløses kameraet i standeren. Både føreren af bilen og nummerpladen fotograferes. Denne metode anvendes i Danmark, Norge, Sverige og Finland. Stander og spoler kan erstattes med en af politiets mobile fotobiler, hvor hastigheden måles med radar.

Strækings-ATK er baseret på den målte gennemsnitshastighed over en strækning. Med et kamera placeret på stander eller portal i hver ende af strækningen, fotograferes nummerpladen på køretøjet. Når to nummerpladeregistreringer – en i hver ende af strækningen – matcher, beregnes gennemsnitshastigheden ud fra strækningens længde og den tid, der går mellem de to nummerpladeregistreringer. Ved strækings-ATK fotograferes alle køretøjernes nummerplader.



Figur 8.1: Fotostander til punkt-ATK



Figur 8.2: Fotoaflysning af nummerplader til strækings-ATK

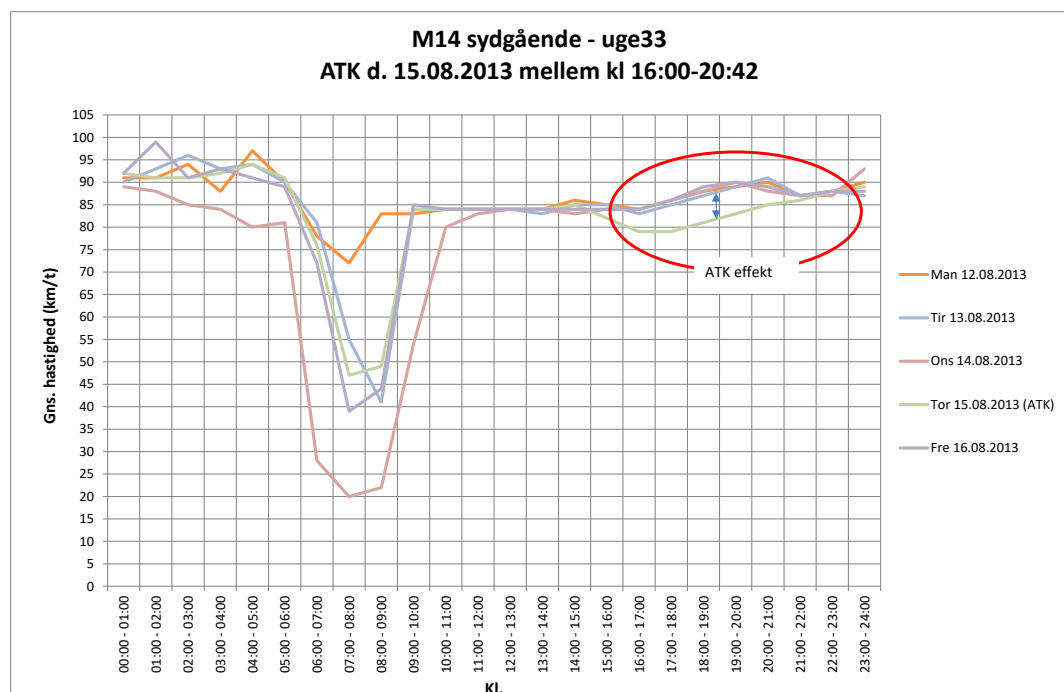
I Danmark findes indtil videre kun erfaringer med brug af punkt-ATK. Erfaringerne er meget positive både med hensyn til reduktion af hastighed og trafikulykker.

Der er i 2010 foretaget en opsamling af erfaringer med brug af ATK i en række lande [11]. Der foreligger international dokumentation for, at brug af punkt-ATK fører til en reduktion i middelhastigheden på omkring 7-10 % og et fald i personskadeulykker på omkring 20-25 %. De fleste evalueringer viser samtidig, at det især er omfanget af de højeste hastigheder, der reduceres, og at spredningen i hastighed dermed falder. Erfaringerne viser også, at den punktvis kontrol medfører kængurukørsel, hvilket betyder, at føreren nedsætter hastigheden ved ATK-standeren for så at sætte den op igen umiddelbart efter.

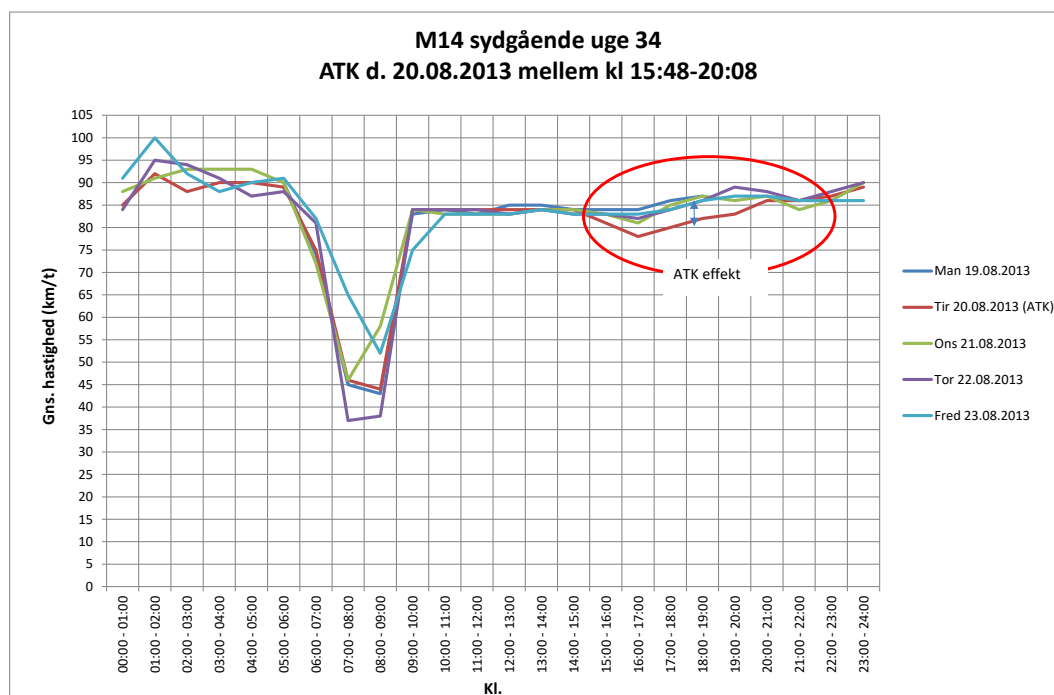
I 2009 blev der lavet et dansk forsøg med 10 punkt-ATK standere og 6 kameraer som på skift blev brugt på standerne. Forsøget blev udført af Rigspolitiet, Midt- og Vestsjællands Politi samt Nordsjællands Politi. Fire standere var opsat i byzone og de andre 6 ved landeveje uden for byzone. Middelhastigheden faldt på landevejene uden for byzone med 9 km/t på hverdage og 12 km/t i weekender. Det svarer til et fald på hhv. 12 % og 14 %. I byzone var faldet noget mindre hhv. 10 % og 13 %. Resultaterne fra det danske forsøg viser således en noget større effekt sammenlignet med de internationale erfaringer [11].

Stræknings-ATK har været anvendt i Holland siden årtusindskiftet og erfaringerne derfra er positive både mht. hastighedsreduktion og fald i personskadeulykker. Stræknings-ATK imødekommer problemet med kængurukørsel. Stræknings-ATK virker over hele strækningen. Det giver en mere jævn hastighedsreduktion og en bedre trafikafvikling. Der findes endnu ingen danske erfaringer med brugen af stræknings-ATK.

Vejdirektoratet har i 2013 lavet et supplerende forsøg med brug af punkt-ATK på Helsingørsmotorvejen i forbindelse med vejarbejde. Resultaterne viste et tydeligt fald i hastighed på ca. 5 km/t i perioder, hvor ATK er aktiv. Effekten er væk så snart ATK fjernes igen.



Figur 8.3: Hastighedsdata for alle hverdage i uge 33. I periode med aktiv ATK ses en tydelig effekt på gennemsnitshastigheden.



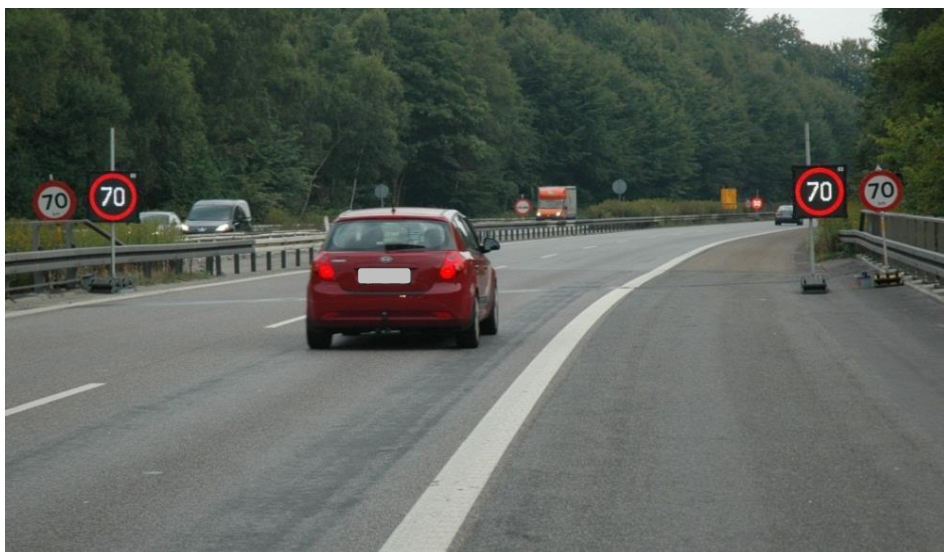
Figur 8.4: Hastighedsdata for alle hverdage i uge 34. I periode med aktiv ATK ses en tydelig effekt på gennemsnitshastigheden.



## 9. Elektroniske og faste C55-hastighedstavler

I forbindelse med et vejarbejde på Hillerødmotorvejen (rute 16) i september 2012 testede Vejdirektoratet effekten af elektroniske C55-hastighedstavler [6].

De faste hastighedstavler med 90 km/t, 70 km/t og 50 km/t blev suppleret med elektroniske C55-tavler, med tilsvarende visning som de faste tavler. De elektroniske tavler blev placeret nærmest kørebanen og i samme højde som de faste tavler (se Figur 9.1). Opstillingen blev testet både om dagen og om natten.



Figur 9.1: Elektroniske C55-tavler supplerer de faste C55-tavler.

Resultatet af testen viste, at:

- De elektroniske C55-tavler fremstår meget tydeligere end de faste tavler
- De supplerende elektroniske C55-tavler gav en god hastighedsreduktion på 5-11 km/t i forhold til de faste tavler alene. Dette var gældende både i dagslys og i mørke.

## 10. VMS tavler til fartdæmpning ved arbejds kørsel ud fra midterrabat

Anvendelse af elektroniske VMS-tavler til midlertidig reduktion af hastighedsbegrænsningen fra 80 km/t til 50 km/t i forbindelse med arbejds kørsel ud fra arbejdszone i midterrabat blev testet i forbindelse med udvidelsen af Motorring 4 (M4), oktober 2012 [7].

Strækningen var nedskiltet til 80 km/t med faste tavler pr. ca. 1200 m. Ca. 150 meter før ind-/udkørsel til arbejdszonen var der placeret en VMS-tavle i begge vejsider. De to VMS-tavler blev kun aktiveret i forbindelse med udkørsel fra midterrabatten. Når tavlerne blev aktiveret, viste de 50 km/t (se Figur 10.1). Når de elektroniske VMS-tavler var slukket var den gældende hastighedsgrænse således 80 km/t, som angivet på de faste C55-tavler.



Figur 10.1: VMS-tavlerne aktiveres ved arbejds kørsel ud fra midterrabat for at få en midlertidig hastighedsbegrænsning på 50 km/t.

Hastighedsmålinger ved de elektroniske VMS-tavler viste, at de tændte tavler reducerede gennemsnitshastigheden med ca. 13 km/t (fra 75 km/t til 62 km/t). 85% fraktilen blev reduceret med 9 km/t (fra 83 km/t til 74 km/t).

Observationer af adfærden peger på, at arbejds køretøjets manøvre i forbindelse med ud- og indkørsel fra/til midterrabatten skete på en sådan måde, at de øvrige trafikanters hastighed og valg af kørespor blev påvirket. Adfærdsobservationerne tyder dog også på, at kørsel ud af arbejdszonen tilsyneladende skete uden problematiske følger for trafikken på motorvejen.

Forsøget adskiller sig fra den sædvanlige brug af elektroniske VMS-tavler, ved at de to tavler placeret før arbejdszonen var de eneste på vejarbejdsstrækningen, og ved at de kun var aktive i forbindelse med udkørsel fra arbejdszonen. Periodevis nedskiltning af hastigheden ved udkørsel fra arbejdszone er også testet på strækninger, hvor der anvendes VMS-tavler på hele vejarbejdsstrækningen, og hvor alle disse VMS tavler er konstant aktive. Nedskiltning af hastigheden ved udkørsel fra arbejdszone under disse forhold viser ringere effekt.

## 11. Høj tavlevogn

I forbindelse med et vejarbejde på den Østjyske motorvej lidt nord for Vejle blev der i 2012 lavet et forsøg med brug af høj tavlevogn alene i højre vejside. Formålet var at afprøve den høje tavlevogn som et brugbart alternativ til den almindelige praksis med en fast C55 tavle i begge vejsider [10].



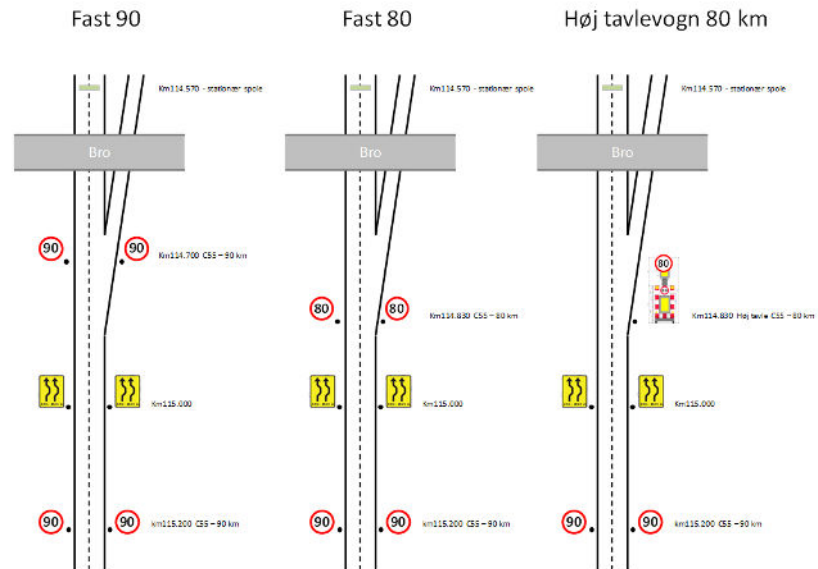
Figur 11.1: Høj tavlevogn alene i højre vejside viser 80 km.

Tavlevognen kan hæves til en højde af ca. 7 m. Den er forsynet med 3 VMS tavler, som afhængig af den konkrete opstilling, kan vise forskellige påbudstavler, advarselstavler og/eller oplysningstavler. I forsøget var 2 af de 3 VMS tavler aktiveret. De viste begge en C55-tavle med hastighed 80 km/t som vist på figur 11.1.

Tre forskellige opstillinger blev benyttet på en strækning, der leder op til et større vejarbejde med en hastighedsbegrænsning på 80 km/t. Opstillingerne indgik derfor i overgangen fra 110 km/t til 80 km/t. De tre opstillinger er vist i figur 11.2.

Hver opstilling har været benyttet i en periode på ca. 1 uge.

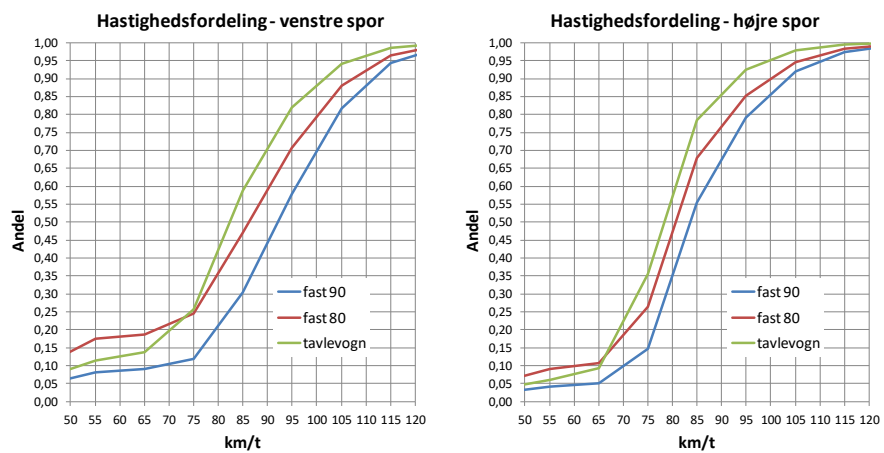
Der blev målt hastigheder vha. en permanent tællestation placeret ca. 250 m efter det berørte tavlesnit. Derudover blev der udført manuelle målinger af hastigheder ud for det berørte tavlesnit ved brug af laserpistol. Desuden blev den høje tavlevogns synlighed vurderet ud fra bl.a. videooptagelser og forbikørsler med eye-track.



Figur 11.2: De tre opstillinger

Opstilling	Spole km 114,570 (km/t)		Kontrolspole (km/t)		Hastighedsreduktion (km/t)	
	Venstre	Højre	Venstre	Højre	Venstre	Højre
Fast 90	97	91	123	108	26	17
Fast 80	90	86	119	105	29	19
Høj Tavlevogn 80	89	84	113	104	24	20

Figur 11.3: Målte gennemsnitshastigheder i km 114.570 ved de forskellige opstillinger sammenholdt med kontrolspole.



Figur 11.3: Hastighedsfordeling for venstre og højre kørespor.

Resultaterne viste:

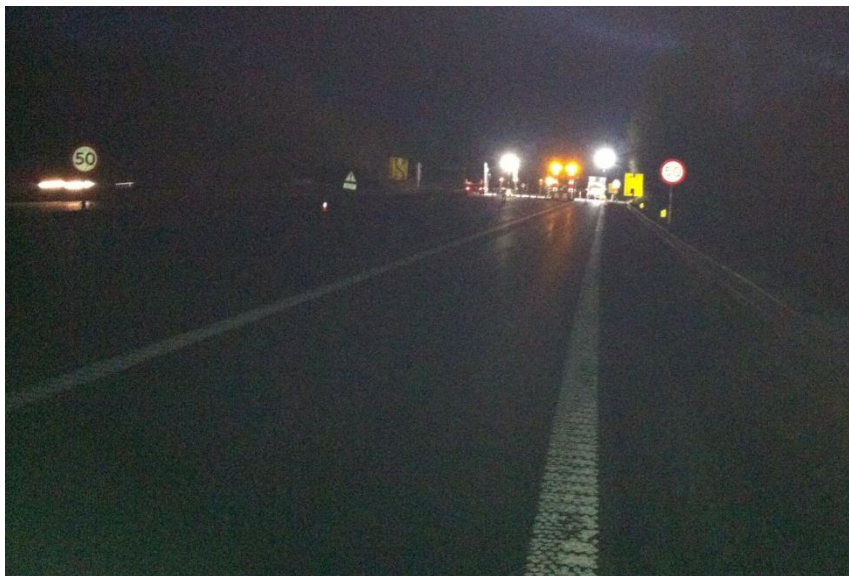
- Hastigheden i opstillingen med den Høje tavlevogn var på niveau med opstillingen med de faste C55 (80 km/t) tavler i begge vejsider.
- Der blev ikke målt større hastighedsforskel mellem højre og venstre spor i opstillingen med Høj tavlevogn, set i forhold til faste C55 tavler i begge vejsider, på trods af, at den Høje tavlevogn kun var placeret i højre vejside.
- C55 tavlerne på den Høje tavlevogn vurderes at være meget synlige også på lang afstand.
- Selvom den øverste C55 tavle er hævet til 7 m, kan der opstå situationer, hvor tavlen, pga. af høje køretøjer i det højre kørespor, vil være helt eller delvist dækket for bilister i det venstre kørespor. I den konkrete opstilling, på den konkrete strækning (hvor der er en høj andel tung trafik), tyder hastighedsdata dog på, at bilisterne i det venstre spor reagerer på den Høje tavle, uanset at den til tider kan være dækket af andre køretøjer.

Det skal bemærkes, at den Høje tavlevogn er placeret i en venstredrejende vejkurve, hvilket gør tavlevognen ekstra synlig, også for bilister i venstre kørespor.

## 12. Mobilt arbejdslys (PowerMoon) ved vejarbejde i mørke

En PowerMoon er en kraftig lyskilde, der på grund af placeringen relativt højt over jordoverfladen (f.eks. 5 - 6 m eller mere), kan oplyse et stort areal uden at give gener i form af skyggevirkning og blænding for trafikanterne.

PowerMoon kan ses på forholdsvis lang afstand, hvilket muliggør, at trafikanterne bliver opmærksomme på, at der pågår vejarbejde længere fremme (se figur 12.1).



Figur 12.1: Brug af mobilt arbejdslys ved vejarbejde i mørke

Brugen af mobilt arbejdslys er blevet testet et par steder – dels i forbindelse med vejarbejdet på Hillerødmotorvejen i efteråret 2012, og dels i forbindelse med et vejarbejde i mørke på Vestmotorvejen (M20) i foråret 2013 [5 og 6]. I begge vejarbejder blev hastigheden nedskiltet før vejarbejdet til 50 km/t og PowerMoon blev kun anvendt i mørketimerne. I begge tilfælde blev de mobile PowerMoons placeret i kanten af arbejdsområdet meget tæt ved kørebanen.

I forbindelse med begge tests viste resultaterne, at brug af PowerMoons kan give en reduktion på trafikanternes hastighed på op til 5 km/t.

### 13. Radiokegle

Radiokeglen er en almindelig trafikkegle, hvor der i toppen er monteret en sender, der kan sende signal/meddelelse direkte til CB radioer, som er monteret i de fleste lastbiler. Radioerne anvendes af lastbilchauffører til samtaler og er derfor normalt indstillet på den nationale kanal til det formål. Det gælder både danske og udenlandske chauffører. Det kan man også udnytte til at sende en advarsel til chaufførerne om, at de nærmer sig et vejarbejde. Advarslen ”attention – danger” kan sendes på en række forskellige sprog.



nr.	language	channel	frequency	modulation
1	Italian	05	27,015 MHz	AM
2	Hungarian	08	27,055 MHz	AM
3	German	09	27,065 MHz	AM
4	Czech	10	27,075 MHz	FM
5	Lithuanian	12	27,105 MHz	AM
6	Russian	15	27,135 MHz	AM
7	Slovene	16	27,155 MHz	AM
8	Danish	17	27,165 MHz	AM
9	English	19	27,185 MHz	FM
10	Turkish	21	27,215 MHz	FM
11	Romanian	22	27,225 MHz	FM
12	Polish	28	27,285 MHz	AM
13	Bulgarian	40	27,405 MHz	FM

Figur 13.1: Trafikkegle med signalsender (transmitter). Signalet har en rækkevidde på 300-400 m. Advarslen kan sendes på en række forskellige sprog.

Keglen blev afprøvet i et forsøg på en 2-sporet motorvej (Sydmotorvejen) i foråret 2016. I forsøget blev et vejarbejde forvarslet med tavlevogne i nødsporet på strækningen op mod sporbortfald. Denne afmærkning blev testet med og uden brug af supplerende radiokegle placeret ca. 1 km før starten på forvarslingen.

For begge opstillinger blev der målt hastighed og sporbenyttelse ved brug af sporetællinger.

Der blev ikke fundet nogen effekt af radiokeglen [22]. En sammenligning af opstillinger med og uden kegle viste ikke nogen ændring hverken i hastighed eller i andelen, der benytter venstre kørespor frem mod afspærringen.





## Udenlandske eksempler

I det følgende præsenteres en række testede eksempler fra udlandet.

### 14. Mobilt køvarslingssystem

Ved vejarbejde kan der opstå risiko for pludselig kødannelse, som kan føre til bagendekollisioner.

På motorvej E22 i Skåne i Sverige har man i 2009 testet et mobilt køvarslingssystem i én køreretning i forbindelse med vejarbejde, hvor 2 kørespor flettes sammen til 1 spor. Hypotesen var, at køvarslingssystemet mindsker hastighedsvariationen op mod sporbortfaldet, hvorved risikoen for bagendekollisioner reduceres. Årsdøgntrafikken på teststrækningen lå på ca. 30.000 ktj. [12]

Køvarslingssystemet består af en radar til registrering af hastighed samt to variable LED-tavler. Når hastigheden i radarmålesnittet faldt til 50 km/t eller derunder tændtes de to variable LED-tavler, som begge viste tavlesymbolet for kø sammen med to gule blink. (se figur 14.1).



Figur 14.1: LED-tavle med gule advarselsblink.

Den første LED-tavle var placeret på strækning med 110 km/t cirka 2,5 km før start på flettestrækningen. Den anden tavle stod på strækning med 90 km/t cirka 1,2 km før start på flettestrækningen. Radaren, der målte hastigheden, var placeret 410 m før flettestrækningen, hvor hastighedsgrænsen var 70 km/t.

Der er målt hastighed i 4 målesnit (slangemålinger) på strækningen op mod vejarbejdet både før og efter implementering af varslingssystemet. Det første målesnit (referencesnittet) var placeret på 110 km/t strækning ca. 7,5 km før flettestrækningen. M2 var placeret umiddelbart efter første LED-tavle, og M3 var placeret

mellem de to LED-tavler. Det sidste målesnit M4 var placeret på 90 km/t strækning 400 m efter den sidste LED-tavle.

*Resultaterne viste:*

Resultaterne viste, at hastighedsfordelingerne blev mere homogene i myldretiden, hvor trafikmængden var høj. Køvarslingssystemet havde således en signifikant effekt på variationskoefficienten for hastighed ved høje trafikmængder. Det blev derfor konkluderet at køvarslingssystemet har en positiv effekt på trafiksikkerheden, når trafikmængderne er høje. I perioder med lave trafikmængder kunne der derimod ikke konstateres nogen forskel. Det skyldes, at hastighedsniveauet ved lave trafikmængder kun sjældent eller aldrig faldt til så lavt et niveau, at køvarslingssystemet blev aktiveret [12]. Det skal tilføjes, at det alene er korttidseffekten, der er undersøgt.

## 15. Variable tavler ved periodisk vejarbejde

Der er udført et feltforsøg i Mälardalen i Sverige inden for rammerne af den ordinære drift i forbindelse med periodisk vejarbejde, der omfattede rengøring af kantpæle, vejmarkeringsarbejde eller beskæring af vegetation i vejrabatterne [12]. Formålet var at teste påvirkning af bilisternes hastighedsadfærd i relation til tre forskellige budskaber A), B) og C) givet med brug af 2 LED-tavler placeret ovenover hinanden på en arbejdsvogn, som vist i figur 15.1.

Målingerne er udført over tre dage på tre forskellige 90 km/t-strækninger:

1) riksväg 52 (vejbredde 13,0 m), 2) länsväg 800 (vejbredde 12,5 m) og 3) riksväg 53 (vejbredde 9,5 m). Alle tre budskaber er testet på alle tre strækninger.

Hastigheden for hver bil, der kørte frem mod tavlen, blev målt i en afstand på cirka 100 m med radar, som var placeret oven på tavlen. Hvis hastigheden var under 50 km/t viste den øverste tavle symbolet for vejarbejde, mens den nederste LED-tavle forblev sort. Hvis hastigheden blev målt til 50 km/t eller derover blev der vist et af de tre alternative budskaber.

A)



Figur 15.1: Alternativ A) er referencebudskabet, hvor den øverste tavle hele tiden viste vejarbejdssymbolet og den nederste tavle viste teksten "Sänk farten".

B)

I det alternative budskab B) viste den øverste LED-tavle skiftevis symbolet for vejarbejde og teksten "MIN FART XX" (arbejds køretøjets egen hastighed), mens den nederste LED-tavle var sort.

C)



Figur 15.2: Det alternative budskab C) veksler mellem de to viste informationer i fastlagte tidsintervaller (fotos er taget i snevejr).

Resultaterne viser:

Generelt er bilisternes hastighed relativ lav på strækningerne op mod tavlevognen, der markerer, at der pågår et midlertidigt vejarbejde. Middelhastigheden varierer således mellem 21 km/t og 32 km/t.

Observation	Budskab	Strækning	Middelhastighed (km/t)
1	A	1	30,4
2	B	1	27,1
3	C	1	25,0
4	A	2	31,7
5	C	2	24,0
6	B	2	28,1
7	A	3	23,6
8	B	3	21,2
9	C	3	20,5

Tabel 15.1: Middelhastighed for de alternative budskaber på de tre teststrækninger

Budskab	Middelhastighed	95% konfidensinterval	
A	28,6	26,7	30,5
B	25,5	23,6	27,4
C	23,2	21,3	25,1

Tabel 15.2: Middelhastighed og 95%- konfidensintervaller for hastighed for hvert af de tre alternative budskaber. Konfidensintervallerne for A og C er disjunkte (intet overløb)

Resultatet af den statistiske analyse (t-test) med hensyn til forskel mellem de alternative budskaber viser, at alternativ C) giver en signifikant lavere hastighed end alternativ A). Derimod kan der ikke siges noget statistisk sikkert om at B) adskiller sig fra de to andre alternativer.

## 16. Optiske hastighedslinjer

### *Svensk undersøgelse af periferiske optiske linjer*

Et forsøg med periferiske optiske hastighedslinjer blev udført i efteråret 2008 i Sverige på Riksväg 52 i region Mälardalen [12].

De optiske linjer har en længde på 30 cm og blev påklisteret vinkelret i begge sider på køresporets sidelinjer i retning ind mod midten af køresporet, som vist på figur 16.1.



*Figur 16.1: De optiske linjer er 30 cm lange og er påklisteret i begge sider vinkelret på køresporets sidelinjer. Foto til venstre er fra det svenske forsøg og foto til højre er fra et lignende forsøg i USA.*

Idet afstanden mellem linjerne mindskes i køreretningen, er det hensigten at skabe en visuel illusion af, at hastigheden øges for en bilist, der kører med konstant fart. Princippet er illustreret i figur 16.3.



*Figur 16.2: Principskitse for de periferiske optiske linjer [14].*

Der blev udlagt 49 optiske linjer i alt over en 200 meter lang strækning. Afstanden mellem de to første optiske linjer var 5,56 meter. Derefter blev afstanden reduceret liniært med 0,06 meter, så afstanden mellem de sidste to linjer var reduceret til det halve, dvs. 2,78m.

Den 200 meter lange teststrækning forløber mellem en 70 km/t tavle og en 50 km/t tavle.

Der er målt hastigheder i 3 målesnit før og efter etablering af de optiske linjer. Målesnit M1 er placeret på 90 km/t strækning i en afstand på cirka 300 meter fra målesnit M2, der er placeret ud for 70 km/t tavlen. M3 er placeret ud for 50 km/t tavlen ved målestrækningens afslutning, der ligger 200 m efter M2.



Figur 16.3: Principskitse for målestrækning med 3 hastighedsmålesnit. De optiske linjer er udlagt mellem M2 og M3.

Resultaterne viste en lille, men signifikant reduktion af hastigheden ud for 50 km/t tavlen fra 57 km/t til 56 km/t. Hastigheden forblev uændret i målesnit M1 og M2. Middelhastigheden i M2 blev målt til 63,9 km/t.

#### Amerikanske undersøgelser af periferiske optiske linjer

I et amerikansk studium fra 2006 [16] har man testet periferiske optiske linjer (Peripheral Transverse Bars) i et design meget lig med det, der er testet i Sverige. På strækninger op mod vejkurver, hvor hastigheden af sikkerhedsmæssige årsager ønskes reduceret, blev der etableret periferiske optiske linjer (se figur 16.4) på tre forsøgslokaliteter:

- 1) New York, på strækning med hastighedsgrænse 65 mph (105 km/t) op mod en exit rampe på Interstate 690, hvor anbefalet hastighed var 30 mph (48 km/t) lige før vejkurven
- 2) Mississippi, på en tosporet Rural Road, hvor hastighedsgrænsen på strækningen var 45 mph (72 km/t) med anbefalet hastighed lige før vejkurven var 40 mph (64 km/t)
- 3) Texas, på en tosporet lokal rural highway, hvor hastighedsgrænsen var 65 mph (105 km/t) med anbefalet hastighed på 40 mph (64 km/t) lige før kurven



Figur 16.4: De periferiske optiske linjer i New York (øverst til venstre), Mississippi (nederst til venstre) og Texas (til højre)

De periferiske optiske linjer er lagt ud med en indbyrdes afstand, der gradvist bliver mindre og mindre op mod vejkurven, så der vises 4 linjer per sekund. Det betyder, at ved hastighed 105 km/t er afstanden 7,3 meter og ved 64 km/t er afstanden kun 4,6 meter.

Der er målt hastigheder på tør vejbane før og efter udlægning af de optiske linjer.

Resultaterne viste et fald i gennemsnitshastigheden på op til 6 km/t og et fald i 85% fraktilen på op til 8 km/t. Effekten var størst i New York op mod exit rampen på Interstate 690. I Mississippi faldt gennemsnitshastigheden 2 mph (3 km/t) og 85% fraktilen 1 mph (1,6 km/t). I Texas var der stort set ingen effekt.

#### *Amerikanske undersøgelser af optiske tværstriber på tværs af vognbane*

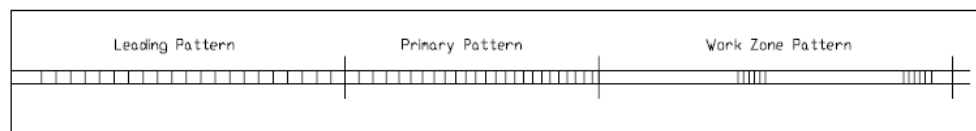
I Kansas (USA) blev der i 2004 udført en test med optiske linjer på tværs af hele vognbanen i forbindelse med vejarbejde, hvor den generelle hastighedsgrænse på 70 mph (113 km/t) skulle reduceres til 60 mph (97 km/t) forbi arbejdszonen.

Forsøget blev udført på en 4-sporet *rural highway* med midterrabat, en ADT på 18.000 og 20 % tung trafik. Arbejdszonen var 8 km lang, hvoraf 2,2 km indgik i evalueringen.

Det samlede sribedesign bestod af tre dele. På den første delstrækning (332 m lang) blev der udlagt 20 tværstriber med konstant bredde (1050 mm) og konstant afstand på 15,85 m (*the leading pattern*).

Derefter fulgte en delstrækning (279 m lang), hvor 29 tværstriber blev udlagt med aftagende bredde (fra 1050 mm til 600 mm) og aftagende afstand fra 15,7 m ned til 9,0 m (*the primary pattern*).

På den sidste delstrækning (747 m) forbi selve vejarbejdszonen blev der udlagt 4 sæt af 6 tværstriber med 152 m mellem sætterne (*work zone pattern*). Tværstriberne havde en bredde på 600 mm og en indbyrdes afstand på 6 m.



Figur 16.5: Principskitse af det samlede design for de tre delstrækninger [15].

*The leading pattern* har kun til formål at vække bilistens opmærksomhed ("warning"). Intentionen med det efterfølgende *The primary pattern* er et forsøg på at skabe en perceptuel effekt, der gør, at bilisten oplever høj hastighed og dermed gerne skulle reducere farten frem mod vejarbejdszonen.

Der blev målt hastighed i 7 målesnit hen gennem de tre delstrækninger med tværstriber samt i et enkelt målesnit ca. 300 m før delstrækning med *leading pattern* og i to målesnit efter delstrækningen med *work zone pattern*. I analysen indgår kun data for *fritkørende*, dvs. de køretøjer, der ankommer 5 sek. eller senere efter forankørende (*headway*  $\geq$  5 sek.).

I figur 16.6 ses resultaterne af hastighedsmålingerne for personbiler og for tunge køretøjer hver for sig. På X-aksen er vist målesnit 1-9, så kurverne skal læses med køreretning fra højre mod venstre. Målesnit nr. 1 ligger ca. 300 m før *leading pattern*, som går fra målesnit 2 til målesnit 4. *The primary pattern* går fra målesnit 4 til 6 og *work zone pattern* fra målesnit 6 til 9.

Både middelhastighed, 85%-fraktil og standardafvigelsen er højest i målesnit 1 og lavest i målesnit 5, som ligger midt på delstrækningen med *the primary pattern*. Kurverne viser at hastigheden er faldende fra målesnit 1 til målesnit 5, med undtagelse af 85%-fraktilen for tunge køretøjer i dagtimerne, som ligger på 104,6



km/t (65 mph) gennem hele forløbet undtagen ved målesnit 5, hvor den dykker midlertidigt.

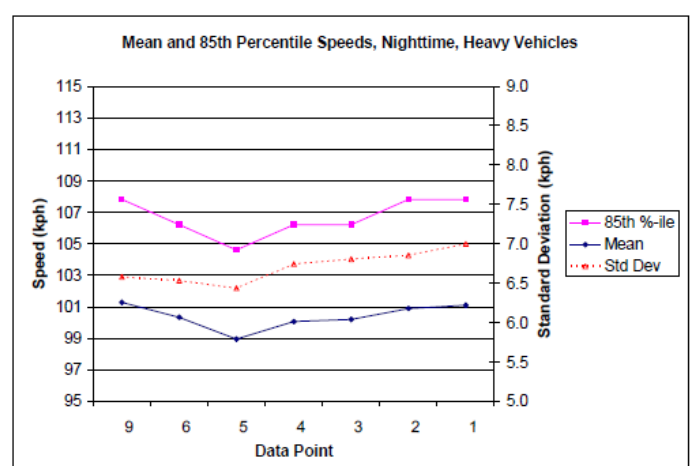
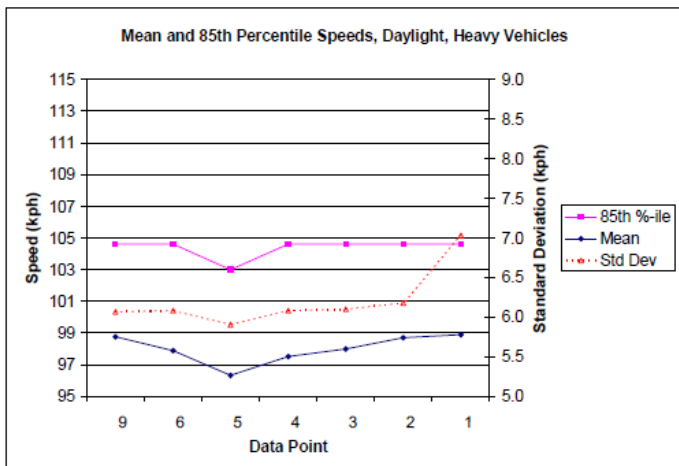
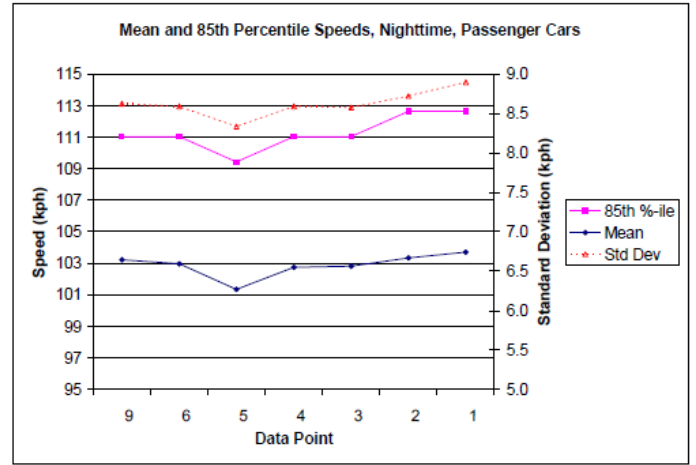
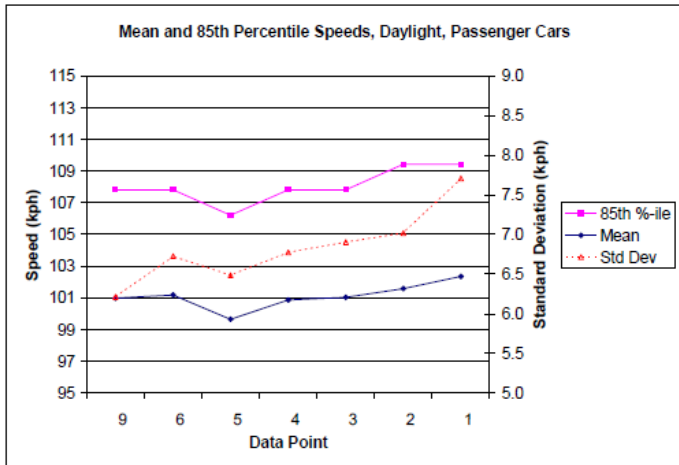


Figure 58. Mean speeds, 85th percentile speeds, and standard deviations, daylight.

Figure 59. Mean speeds, 85th percentile speeds, and standard deviations, nighttime.

Figur 16.6: Middelhastighed og 85%-fraktilhastigheder for personbiler og tunge køretøjer i dagtimerne og i nattetimerne [15].

Resultaterne viste, at det testede stribekoncept gav en begrænset, men statistisk signifikant hastighedsreduktion både i middelhastighed og i 85% fraktilen på omkring 1 mph svarende til 1,6 km/t [15] og [16]. Man konkluderede samtidig, at det var de to første dele af konceptet *the leading pattern* efterfulgt af *primary pattern*, der var årsag til hastighedsreduktionen, mens den sidste del *the work zone pattern* ikke havde nogen effekt.

*Amerikanske undersøgelser af chevron tværstriber*

På Interstate 94 på strækning op mod exit rampe i Milwaukee, Wisconsin, blev der i 2003 lavet forsøg med påmalede chevron striber. Se figur 16.5.



Figur 16.5: Chevron striber før exit rampe på Interstate 94 i Wisconsin (USA).

Resultaterne viste en reduktion i middelhastighed på 17 mph (27 km/t) fra 70 mph (113 km/t) før til 53 mph (85 km/t) efter etableringen af striberne [14] og [16]. Noget af faldet skyldes dog en øget trafikmængde.

Erfaringer fra nyere forsøg i 2012 med udlægning af chevronstriber i forbindelse med vejarbejder i Atlanta har vist, at hastigheden kortvarigt falder efter etablering, men derefter stiger igen, så den opnåede reduktion begrænses til 1-2 mph (2-3 km/t) [14]

## 17. Drone Radar

Nogle biler er forsynet med en radar detektor, der advarer bilisten mod politiets tilstedeværelse med radarudstyr. Det gælder både i USA, Danmark og andre lande.

En Drone Radar Unit simulerer det signal, som politiets radarudstyr udsender. Dermed modtager de bilister, der kører med radar detektor et signal om, at der længere fremme er en af politiets fartkontroller til stede.



Figur 17.1: Drone radar unit

Siden slutningen af 80'erne er der i USA i forskellige stater gennemført en række undersøgelser af effekten på hastighed ved brug af drone radar ved vejarbejder. Det er især 85% - fraktilen der påvirkes, så hastighedsspredningen mindskes. Effekten er størst på de tunge køretøjer, der kører for hurtigt.

Et af de seneste studier (Eckenrode et al.) blev udført i South Carolina i 2007 [14]. Resultaterne viste, at middelhastigheden i bilstrømmen som helhed faldt med ca. 3 km/t. For personbiler udstyret med radar detektor faldt hastigheden med 8-13 km/t.

De amerikanske erfaringer viser samtidig, at informationen om, at det er en radar drone uden tilstedeværelse af politi, hurtigt spredtes blandt bilisterne.

## 18. Lods

Brug af lods til reduktion af hastighed ved vejarbejder kendes fra både USA, Australien og Sverige. Der findes kun få undersøgelser af effekten heraf.

Metoden blev testet i Sverige (Persson 2007) i forbindelse med et reparationsarbejde på en 2+1 vej [17]. Lodsens var en chauffør på 4-hjulet motorcykel. Lodsens ledte trafikken forbi vejarbejdet med en hastighed på 20 km/t. Når den sidste bil i køen havde passeret, vendte lodsens om og ledte trafikken fra den modsatte retning forbi vejarbejdet. I forsøget varede en lodstur frem og tilbage cirka 3 minutter for trafikmængder mellem 300 – 400 biler pr. time. Tiden vil naturligvis afhænge af længden på den aktuelle arbejdsstrækning. Forsøget viste, at metoden fungerede godt på korte strækninger.



Figur 18.1: Forsøg med Lods ved reparationsarbejde af autoværn.  
Foto: Åke Johansson [17].

For at undersøge om metoden også kan fungere ved større trafikmængder og længere strækninger blev feltforsøget suppleret med datasimulering. Resultaterne heraf viste, at køtiderne øges kraftigt allerede ved trafikmængder på 700-800 biler pr. time for et 200 m langt vejarbejde. Hvis længden af vejarbejdet øges til 400 m fungerer lods metoden for trafikmængder op til 600 biler pr. time.

## 19. Chikaner

Forskydning af kørespor (chikaner) bruges i mange lande til at nedbringe hastigheden i forbindelse med vejarbejde. Ved etablering af enkelt- eller dobbeltchikaner på motorveje nedskiltes hastighedsgrænsen gradvist fra eksempelvis 110 km/t til 50 km/t ved indgangen til chikanen.

I en svensk pilotundersøgelse fra VTI i 2007 [18] sammenlignes den konventionelle svenske afmærkning af chikaner på MV E4 (syd for Gävle) med tre alternative afmærkninger:

*Opstilling K:* Den konventionelle svenske afmærkning med faste tavler

*Opstilling VMS:* I stedet for faste tavler bruges VMS tavler til afmærkning af:

- *Overhaling forbudt*
  - *Hastighedsbegrænsning*
  - *Kørespor ophører* sammen med symbol for ”anden fare”
- Denne VMS tavle viser biler i bevægelse

*Opstilling SK:* Ligesom *opstilling VMS*, men med pilmønster på baggrundsplader i stedet for skråstriber samt løbelys i chikanen

*Opstilling ST:* Ligesom *opstilling SK* men suppleret med hvide plastplader i chikanen mellem de lodrette tavler

På motorvejen E4 blev hastighedsbegrænsning nedskiltet fra 110 km/t til 70 km/t og dernæst til 50 km/t før sporbortfald ved starten af chikanen.



Figur 19.1: *Opstilling K* er den konventionelle svenske afmærkning med faste tavler



Figur 19.2: Opstilling VMS: De faste tavler blev erstattet med VMS tavler

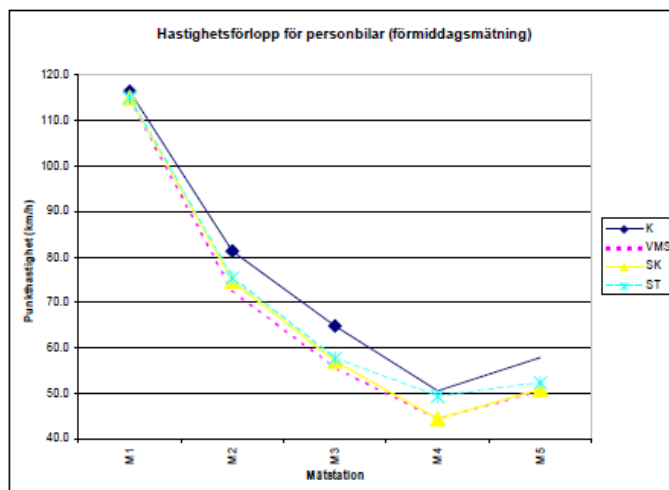


Figur 19.3: Opstilling SK med pilmønster på de lodrette sidemarkeringstavler.

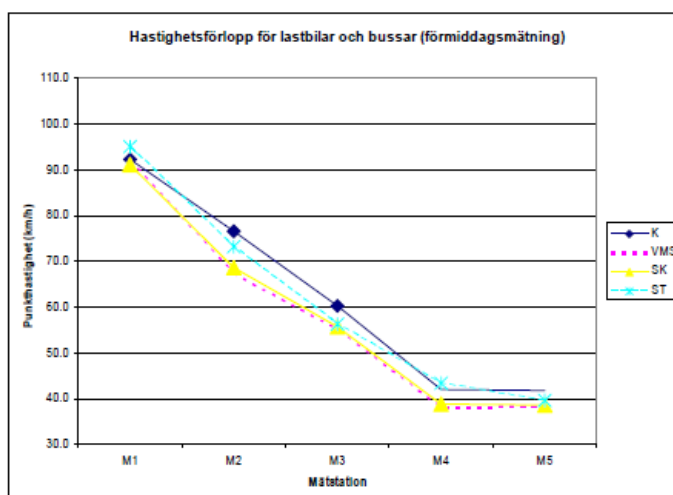


Figur 19.4: Opstilling ST med supplerende hvide plastplader til afmærkning af chikanen.

Der blev målt hastighed i 5 snit. Målesnit M1 var placeret på motorvej, hvor hastighedsbegrænsningen var 110 km/t. M1 ligger så langt før opstillingen, at den ikke var synlig. M2 var ud for 70 km/t-tavlen og M3 var ud for 50 km/t-tavlen. M4 var placeret lige efter chikanen hvor hastighedsbegrænsningen er 50 km/t. M5 var placeret umiddelbart efter overledningen, hvor hastighedsbegrænsningen er skiltet til fast 70 km/t.



Figur 19.5: Hastighetsforløbet for personbiler [18]



Figur 19.6: Hastighetsforløbet for tunge køretøjer [18]

Ud fra hastighedsmålingerne på de 4 opstillinger (se figur 19.5 og figur 19.6) blev det konkluderet, at de tre alternative afmærkninger alle var bedre end den konventionelle afmærkning. De resulterede alle tre i en bedre tilpasning af hastigheden ved indgang til chikanen.

De to første opstillinger med de lodrette sidemærkningstavler (opstilling VMS og SK) havde den bedste effekt på hastigheden og var lige gode. I opstilling ST med de tilføjede plastplader var chikanen visuelt tydeligere markeret end de to første opstillinger, men det medførte samtidig en højere hastighed ved indgangen til chikanen.

Det vides dog ikke, om der er tale om nyhedseffekter og hvorvidt tilvænning eventuelt kan føre til et andet resultat.

## 20. Synligt politi ved vejarbejde

Tilstedeværelse af synligt politi ved vejarbejde har en signifikant effekt på hastigheden. Der vil normalt være tale om en mobil eller stationær politibil. Effekten er dokumenteret i flere undersøgelser [21], [14] og [19].



I en undersøgelse (Richards et al) fra Texas i 1985 [21] foretaget ved fire forskellige vejarbejdede uden for byer (*rural freeways/ highways*) fandt man, at en synlig stationær politibil i vejsiden reducerede hastigheden med 8-14 km/t (5 - 9 mph), mens en cirkulerende politibil kun reducerede hastigheden med 3-5 km/t.

Lokalitet	Skiltet Hastighed	Målt middel-hastighed op mod vejarbejdet	Hastighedsreduktion med <i>stationær politibil</i>	Hastighedsreduktion med <i>cirkulerende politibil</i>
<b>Rural</b> 4-Lane freeway	45 mph	60 mph	9 mph	--
<b>Rural</b> 4-Lane freeway	45 mph	56 mph	5 mph	--
<b>Rural</b> 2-Lane Highway	40 mph	52 mph	7 mph	2 mph
<b>Rural</b> 2-Lane highway	45 mph	56 mph	7 mph	3 mph

Tabel 20.1: Skiltet og målt middelhastighed samt målt hastighedsreduktion (mph), når der er en synlig politibil til stede, enten stationær i vejkanten eller cirkulerende [21].

I en anden undersøgelse foretaget af Minnesota DOT i 1999 [19] ved et vejarbejde på en 4-sporet "rural interstate road" med midterrabat, blev en politibil med aktivret blink parkeret lige før starten på vejarbejdszonen. Den skilte hastighedsgrænse på 112 km/t (70 mph) var reduceret til 74 km/t (45 mph) forbi vejarbejdet. Hastighedsmålingerne blev foretaget med radarpistol både med og uden den parkerede politibil. Resultaterne viste at 85% hastighedsfraktilen blev reduceret fra 82 km/t til 69 km/t når politibilen var parkeret.



En undersøgelse fra Michigan (Sisiopiku og Patel) på Interstate 96 i 1996 viste, at den gennemsnitlige hastighed blev reduceret med ca. 9 km/t lige før starten på vejarbejdet, når der var en synlig politibil parkeret. Når bilerne havde passeret politibilen steg hastigheden igen. Der var ingen langtidseffekt efter at politibilen var fjernet [19].

I en undersøgelse (Hajbabaie et al.) fra 2009 udført for Federal Highway Administration (USA) undersøgte man forskellige virkemidler med og uden kombination med synlig politibil. Resultaterne viste helt generelt, at tilstedeværelse af en synlig politibil er den mest effektive måde at få reduceret hastigheden ved vejarbejde [19].

I Californien har man afprøvet en metode, hvor der indgik flere politibiler. En synlig politibil ved starten af arbejdszonen blev først testet. Dernæst blev den suppleret med endnu en politibil et stykke inde på strækningen forbi vejarbejdet. Måleresultaterne (Carpenter et al. 2012) viste, at hastigheden faldt med 15 km/t (9.6 mph) ved brug af flere politibiler, mens hastigheden faldt 13 km/t (8,8 mph), når der alene var placeret en politibil ved starten. Forsøget viste samtidigt, at hastighedsreduktionen varede ved over en længere strækning, når der blev anvendt flere politibiler [14].

Undersøgelserne viser samstemmende, at tilstedeværelse af synligt politi ved vejarbejder sikrer en bedre overensstemmelse mellem skiltet hastighedsgrænse og faktisk hastighed. Effekten er størst, hvis der er tale om aktiv politiovervågning med konsekvens for lovovertrædelsen.

Brug af synligt politi kan dog være en ressourcetung metode at anvende. Derfor er det også forsøgt at anvende "Dummy police vehicles" (attrap politibiler). Det kan enten være en ubemandet politibil eller en politibil med en mannequin på førersædet. Det har eksempelvis været afprøvet i North Carolina (USA), hvor man fandt at 85% hastighedsfraktilen blev reduceret med 5-8 km/t i op til 2 uger med denne installation [19].

## 21. Audio Warning

Audio Warning er et relativt nyt virkemiddel til fartdæmpning af hastighed ved vejarbejde.

Det fungerer ved, at der i en passende afstand før strækningen med vejarbejde, udsendes et radiosignal, der går direkte ind i bilradioen og advarer bilisten om at der er vejarbejde forude.

I 2004 blev der udført et simulatorstudium (Gustafsson et al.) på VTI i Sverige [19 - del. 3]. 22 testpersoner kørte hver 25 km på en 2+2 motorvej med hastighedsbegrænsning 110 km/t. De passerede undervejs 2 identiske vejarbejder med en længde på 200 meter. Der var ikke andre biler på vejen op mod vejarbejdet, så testpersonen kunne frit vælge hastighed. Halvdelen af testbilisterne fik en Audio Warning ved det første vejarbejde men ingen ved de næste, mens det for den anden halvdel af testbilisterne var omvendt.

Selve advarselssignalet bestod af en lyd svarende til signalbip fra en GPS efterfulgt af en speaker der siger "*Advarsel! Vejarbejde 500 meter fremme. Tilpas hastigheden*".

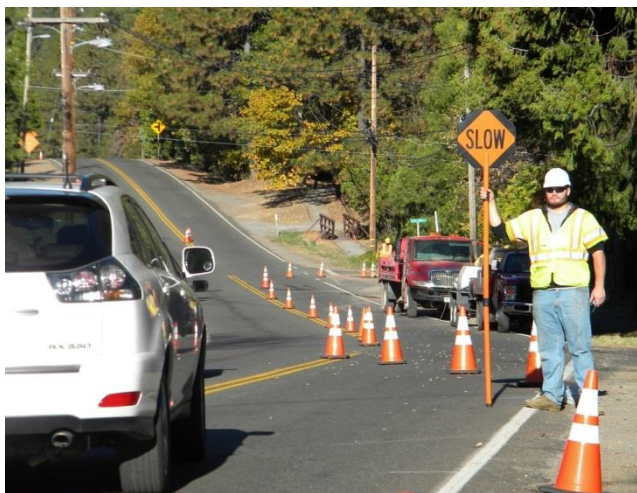
Resultaterne viste, at hastighedstilpasningen var signifikant bedre med *audio warning*. Målingerne viste, at middelhastigheden lå på cirka 110 km/t i en afstand af 1,4 km før vejarbejdet. UDEN audio warning faldt middelhastigheden til 100 km/t ved indgangen til vejarbejdet, men MED audio warning faldt hastigheden yderligere med 13 km/t.

## 22. "Flagging"

Brug af flaggers (flagmænd) har i mange år været en almindelig brugt metode i mange lande til at få hastigheden ned ved vejarbejder. Flaggers bruges typisk til at regulere trafikken forbi vejarbejdet. Det er vigtigt, at flaggeren er placeret i god afstand før vejarbejdet, så bilisterne får tid nok til at reducere hastigheden før de når frem til vejarbejdszonen eller helt at stoppe, hvis det er påkrævet.



Figur 22.1: Flagger med "STOP"



Figur 22.2: Flagger med "SLOW"

I en amerikansk undersøgelse (Richards et al) fra 1985 [21] foretaget på fire forskellige lokaliteter med vejarbejde uden for byer (*rural freeways/ highways*) fandt man, at brug af *flagging* var en meget effektiv metode til at få reduceret hastigheden.

Der indgik to principielt forskellige metoder for flagging:

- *Standard flagging*:  
Flaggeren bar orange vest og var udstyret med rødt flag med teksten ”Alert and Slow”.
- *Innovativ flagging*:  
Flaggeren har samme udstyr som ved standard flagging. Først giver han signal med den frie hånd til bilisten om at sænke farten. Derefter peger han på den nærmeste hastighedstavle, der er placeret lige ved siden af.

Resultaterne (se tabel 22.1) viste, at med brug af *standard flagging* blev hastigheden op mod vejarbejdet reduceret med 6 - 19 km/t (4 -12 mph). Brug af *Innovativ flagging* gav generelt en større fartreduktion på 11-25 km/t (7-16 mph).

Lokalitet	Skiltet Hastighed	Middel-hastighed op mod vejarbejdet	Fartreduktion med <i>Standard Flagging</i>	Fartreduktion med <i>innovativ Flagging</i>	Fartreduktion med <i>innovativ Flagging i begge vejsider</i>
<b>Rural</b> 4-Lane free-way	45 mph	60 mph	7 mph	---	13 mph
<b>Rural</b> 4-Lane free-way	45 mph	56 mph	4 mph	7 mph	-----
<b>Rural</b> 2-Lane Highway	40 mph	52 mph	12 mph	16 mph	-----
<b>Rural</b> 2-Lane highway	45 mph	56 mph	8 mph	10 mph	-----

Tabel 22.1: Skiltet og målt middelhastighed samt målt hastighedsreduktion (mph), når der blev brugt *Flagging* eller *Innovativ Flagging* [21].

Undersøgelsen og resultaterne herfra anvendes som dokumentation og citeres i flere nyere referencer, f.eks. Transportation Research Boards erfaringsopsamling fra 2015: ”*NCHRP Synthesis 482 on Work zone speed management*” [14] og slutrapporterne fra det store Transnationale Road Research programme CEDR fra 2013 [19].

Resultaterne er bekræftet i senere undersøgelser (McCoy og Bonnesen 1993) [14], hvor der dog blev anvendt lidt større *flagger signs*. Man fandt her hastighedsreduktioner på 9 -11 mph, hvilket svarer til de niveauer, som ses i tabel 22.1

## Referencer

0	Herrstedt, Lene: <i>Katalog. Virkemidler til fartdæmpning ved vejarbejde på motorveje. Testede eksempler.</i> Trafitec rapport, december 2014. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
1	Herrstedt, Lene: <i>Hastighedsdæmpning ved vejarbejde på motorveje – IDE katalog.</i> Trafitec rapport, juli 2012. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
2	Greibe, Poul: <i>Smalle kørespor på motorvej. Effekt på trafikafvikling og trafikantadfærd.</i> Trafitec rapport, december 2011. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
3	Madsen og Herrstedt: <i>Afmærkning af vejarbejde om natten. Evaluering af ny afmærkning ved vejarbejde i midterrabat på motorveje om natten.</i> Trafitec rapport, februar 2011. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
4	Andersson, Greibe og Herrstedt: <i>Hastighedsdæmpning ved vejarbejder.</i> Trafik & Veje. Juni 2014
5	Greibe, Andersson og Herrstedt: <i>Fartdæmpning ved vejarbejde på motorvej. Evaluering af Powermoon og N42 Korridor.</i> Trafitec rapport, marts 2014. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
6	Herrstedt og Greibe: <i>Fartdæmpning ved vejarbejde på motorvej-IDE´ udvikling. Evaluering af tests på rute 16 – Hillerød Motorvejen.</i> Trafitec rapport, oktober 2012. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
7	Greibe og la Cour Lund: <i>Evaluering af VMS tavler på M4. Forsøg med nedskiltning af hastighed ved arbejdskørsel.</i> Trafitec rapport, december 2012. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
8	Herrstedt og Greibe: <i>Rumlestribes ved vejarbejde på motorvej. Effekt af hastighed.</i> Trafitec rapport, juli 2012. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
9	Greibe, Poul: <i>M10-rumlestribes. Hastighed og adfærd.</i> Trafitec rapport, oktober 2014. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
10	Greibe, Poul: <i>Brug af høj tavlevogn. Evaluering af hastighed og synlighed.</i> Trafitec rapport, juli 2012. <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>
11	Hels, Tove m.fl.: <i>Automatisk hastighedskontrol – Vurdering af trafiksikkerhed og samfundsøkonomi.</i> DTU-Transport, september 2010
12	Sørensen, Gunilla og Wiklund, Mats: <i>Åtgärder för att minska hastighet förbi vägarbetsplatser. Utvärdering baserad på tre fältförsök.</i> VTI Rapport 698, 2011. <a href="http://www.vti.se">www.vti.se</a>
13	Bolling, Anne og Sørensen, Gunilla: <i>State-of-the-art för utformning av vägarbetsplatser. Förslag til nya lösningar.</i> VTI notat 6-2008. <a href="http://www.vti.se">www.vti.se</a>
14	NCHRP. Synthesis 482. Work Zone Speed Management. Transportation Research Board, Washington D.C., 2015. <a href="http://www.trb.org">www.trb.org</a>
15	Meyer, Eric: <i>Evaluation of data from test application of optical speed bars to highway</i>

	<i>work zones</i> . University of Kansas. Report K-TRAN:KU-00-4, August 2004
16	Katz, Duke, Rakha: <i>Design and evaluation of Peripheral Transverse Bars to Reduce Vehicle Speeds</i> . TRB annual Meeting 2006. Paper 06-0577
17	Bolling og Sørensen: <i>State-of-the-art för utformning av vägarbetsplatser</i> . VTI notat 6-2008.
18	Nygaards, Sara: <i>Alternative typer av utmärkning vid vägarbete på motorväg. En jämförande studie</i> . VTI notat 24-2007
19	CEDR: Transnational Road Research Programme Call 2012: Safety. - <i>State-of-the-art on Speed Management Measures</i> . Deliverable 2, Nov 2013 - <i>Experience of Speed Management in Practise</i> . Deliverable 3. August 2014 - <i>Speed Management at Work Zone. Field Studies and stakeholders survey</i> . Deliverable 4.1, Dec. 2014
20	Wang, Dixon, Jared: <i>Evaluation of speed reduction strategies for highway work zones</i> . TRB Annual Meeting 2003.
21	Richards, S.H. et al: <i>Improvements and new concepts for traffic control in work zones. Vol. 4 Speed control in work zones</i> . FHWA Final report September 1985.
22	Buch, Thomas Skallebæk og Lund, Belinda la Cour: <i>Test af afmærkning af vejarbejde på 4-sporede motorveje. Del 2</i> . Trafitec rapport, september 2016.