



Serviceniveau for til- og frakørsler på motorveje

Vurdering af beregningsmetode

Februar 2006



Poul Greibe

Trafitec
Scion-DTU
Diplomvej, bygning 376
2800 Kgs. Lyngby
www.trafitec.dk

Indhold

Indledning	3
Baggrund	3
Formål.....	3
Dataindsamling	4
Trafik- og hastighedsmålinger.....	4
Rampegeometri.....	5
Databehandling	7
Omregning til personbilenheder.	7
Vejsegmenter i influensområde	8
Bestemmelse af trafikintensitet i segment 1-9.....	9
Bestemmelse af N_{12} (V_{12} i HCM).....	9
Beregning af hastighed og densitet i influensområde.....	10
Bestemmelse af stabilt flow og fri hastighed.....	11
Analyser	13
Hastighed i influensområde ved tilkørsler.....	13
Densitet i influensområde ved tilkørsler.....	18
Hastighed i influensområde ved frakørsler.....	20
Densitet i influensområde ved frakørsler.....	23
Andel af gennemkørende trafik i spor 1+2.....	25
Opsamling	29
Referencer	30
Bilag 1	31
Bilag 2	34

Indledning

Baggrund

Serviceniveauet for motorvejs til- og frakørsler beskrives ved en beregnet middelhastighed og en beregnet densitet for biler i til- og frakørsels influensområde.

Middelhastighed og densitet bestemmes ud fra empiriske modeller, hvor trafikintensitet og fri hastighed på de gennemgående motorvejsspor og ramper indgår sammen med længden af accelerations- eller decelerationsstrækningen ved rampen.

De empiriske modeller er beskrevet i Kapacitet og Serviceniveau [1] og er baseret på den amerikanske Highway Capacity Manual (HCM) [2].

Formål

Som før nævnt, er det amerikanske modeller der ligger til grund for beregning af serviceniveau ved til- og frakørsler på motorveje. Formålet med denne undersøgelse er:

- på grundlag af målinger ved danske til- og frakørsler at vurdere disse modeller til bestemmelse af middelhastighed og densitet i til- eller frakørsels influensområde og dermed vurdere serviceniveauet.
- eventuelt at antyde ændringer som kunne få modellerne til bedre at afspejle trafikafviklingen under danske forhold.

Modellerne ønskes vurderet for både 4 og 6-sporede motorveje.

I forbindelse med 6-sporede motorveje ønskes endvidere en vurdering af de beregningsmetoder der er beskrevet i [1] og [2] til vurdering af trafik i de to højre kørespor (spor 1 og 2).

Dataindsamling

Trafik- og hastighedsmålinger

I efteråret 2003 blev der gennemført trafik- og hastighedsmålinger med Histar-plader på tre lokaliteter (3 tilkørsler og 3 frakørsler). De tre lokaliteter er:

Buddinge

M3 - frakørsel 19, Buddingevej
Vestvendte til- og frakørsel
Måleperiode 21.10.03 kl. 06 – 22.10.03 kl. 24

Værløse

M13 - frakørsel 8, Værløse
Sydvendte til- og frakørsel
Måleperiode 21.10.03 kl. 06 – 22.10.03 kl. 24

Greve

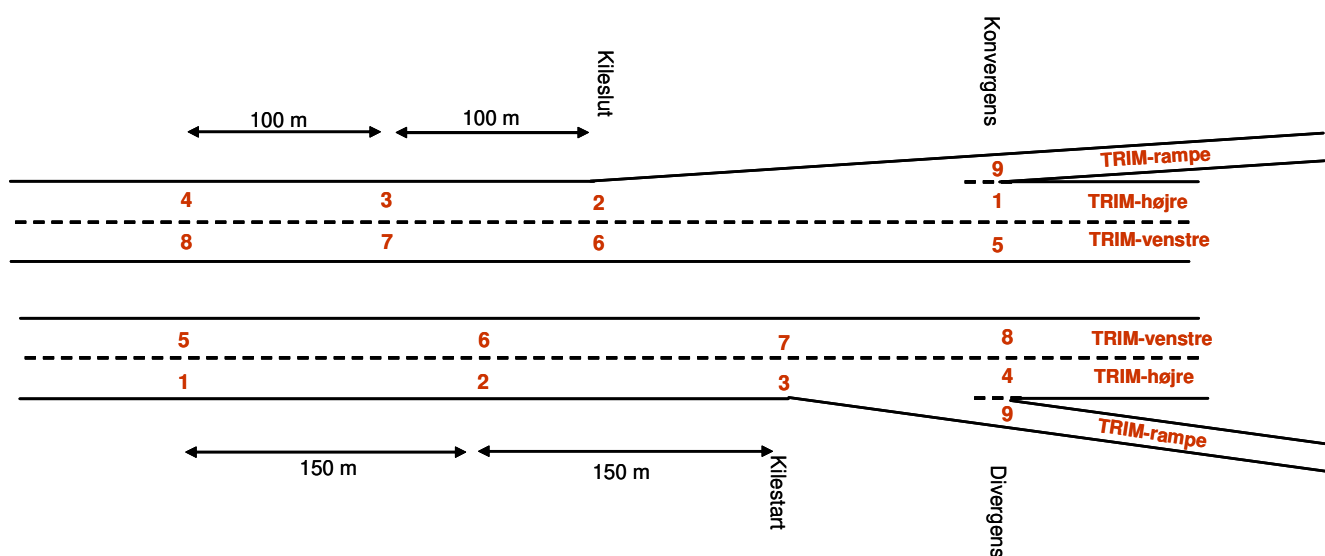
M10 - frakørsel 28, Greve C
Nordvendte til- og frakørsel
Måleperiode 28.10.03 kl. 06 – 29.10.03 kl. 24.

På alle lokaliteter er der målt med Histar-plader i 4 snit pr. motorvejsspor umiddelbart før og efter til/frakørsel. Derudover er der målt i et snit på rampen ved divergens / konvergens. Figur 1 viser Histar-pladernes placering og nummerering ved Buddinge og Værløse. Ved Greve er motorvejen 6-sporet, så her er alle målesnit suppleret med Histar-plader så alle 3 kørespor er målt.

Som supplement til Histar-pladerne er der for alle lokaliteter hentet data fra nærliggende TRIM-målestation på motorvej og rampe. TRIM-målestationerne ligger for alle tre lokaliteter opstrøms i forhold til til-kørslerne og nedstrøms i forhold til fra-kørslerne, se figur 1.

Data fra TRIM-målestation er registreret som enkeltkøretøjstælling mens Histar-plader har målt i 5-min intervaller. Data fra TRIM-målestationerne er aggregeret til 5-min intervaller hvor der skelnes mellem 3 køretøjslængder: <5,8m, 5,9-12,5m og >12,5m. På den baggrund er det muligt at omregne trafikmængder til personbilenheder for TRIM-målingerne. For Histar-data findes ingen opdeling på køretøjslængde.

De målte hastigheder fra Histar-pladerne er efterfølgende korrigeret ud fra viden om den enkelte plades fejlmåling. En nærmere beskrivelse af denne kalibrering kan findes i [4].



Figur 1. Placering af Histar-plader ved til/frakørsel Buddinge og Værløse (nummereret 1-9) og placering af TRIM-målestationer.

Rampegeometri

De geometriske og fysiske forhold ved lokaliteterne, som skal tages i betragtning i undersøgelsen, er angivet i det efterfølgende:

Korrektion for køresporsbredde og fri sidebredde (b)

Køresporsbredden betragtes for alle lokaliteter som for strækninger med ideelle forhold, dvs. med mindst 3,5 m kørespor. Den fri sidebredde antages ligeledes som under ideelle forhold, dvs. mindst 1,8 m fri sidebredde.

Det betyder at $b = 1$ for alle målesnit.

Korrektion for store køretøjer (s)

For alle målesnit er stigningskategorien fastsat til kategori I. Det betyder at Personbilækvivalenterne E_a og E_b fastsættes til 2,0 og 2,5 (se tabel 3,5 i [1])

Flettestrækningens længde (L_A)

Flettestrækningens længde (L_A) er for tilkørsler defineret som afstanden fra konvergenssnit til kilestrækningens slutning (hvor rampesporer er helt inden på motorvejen). For frakørsler er flettestrækningen på tilsvarende vis defineret som afstanden fra kilestrækningens start og frem til divergenspunkt. Flettestrækningernes længde er som angivet i tabel 1.

	Længde af flettestrækning (L_A)	
	Tilkørsel	Frakørsel
Buddinge	185 m	100 m
Værløse	210 m	110 m
Greve	200 m	100 m

Tabel 1. Længde på flettestrækning (L_A)

Databehandling

Alle trafik og hastighedsmålinger er omregnet og analyseret på basis af 5-min intervaller startende fra kl. 06:00 og frem til kl. 24:00 den efterfølgende dag. Det betyder at der for hver lokalitet findes 505 observationer. For Greve frakørslen er der pga. dataudfald dog kun 401 5-min intervaller.

Omregning til personbilenheder.

Data fra TRIM-målestationerne er brugt til beregning af antallet af personbilenheder (pe) pr. 5 min på motorvej og på rampe.

Korrektionsfaktor for store køretøjer (s) er fundet ud fra formel 3.2 i [1]:

$$s = \frac{100}{100 + P_a \cdot (E_a - 1) + P_b \cdot (E_b - 1)}$$

hvor

P_a andel køretøjer 5,9 – 12,0 m

P_b andel køretøjer > 12,0 m

E_a Personbilækvivalent for køretøjstype a (sat til 2,0 i alle tilfælde)

E_b Personbilækvivalent for køretøjstype b (sat til 2,5 i alle tilfælde)

For hvert 5-min interval er korrektionsfaktoren s beregnet for hvert motorvejsspor samt for rampe. Trafikmængden i hvert spor er derefter beregnet ud fra:

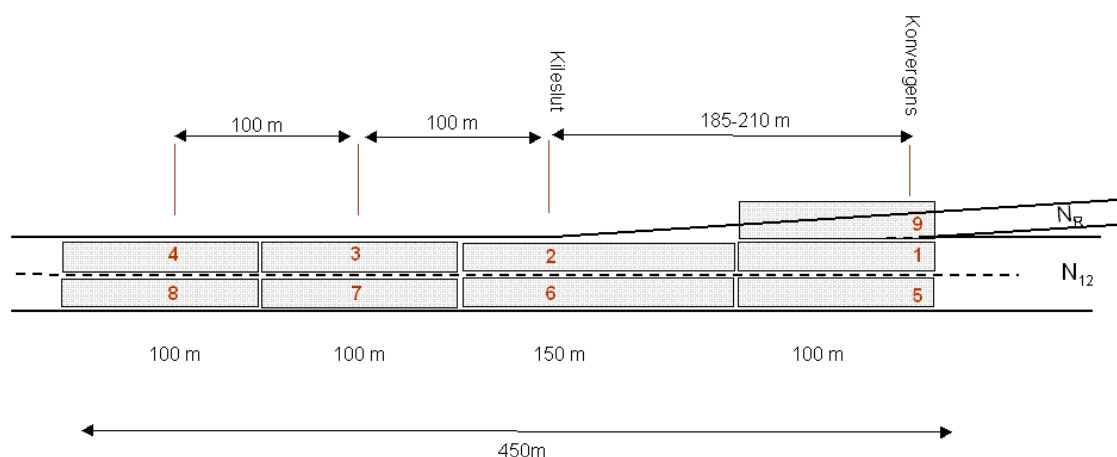
$$N_{spor}(pe/5\text{ min}) = \frac{N_{Trim}}{b \cdot s_{Trim}}$$

Korrektionsfaktoren b er i alle tilfælde sat lig 1.

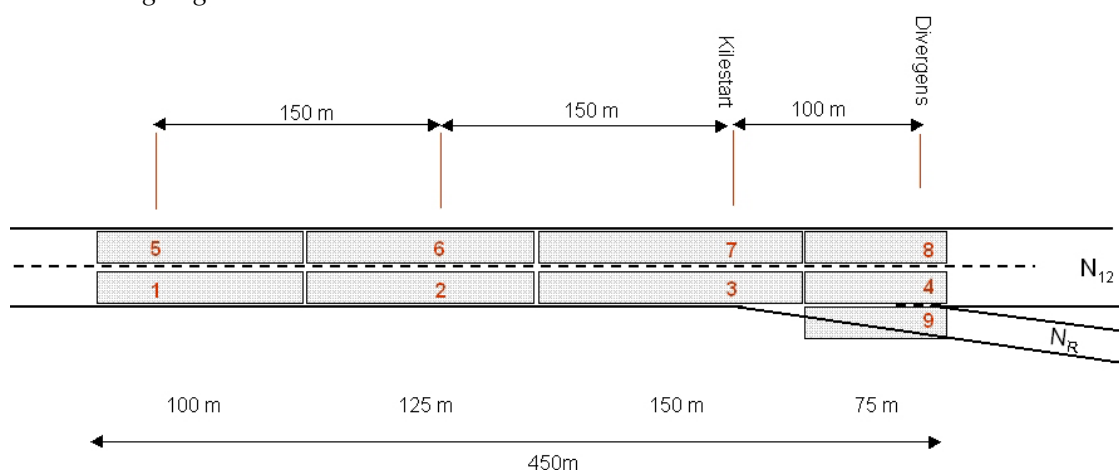
Vejsegmenter i influensområde

Beregninger angivet i HCM [2] vedr. hastighed og densitet ved til- og frakørsler, tager udgangspunkt i til/frakørselens influensområde. Influensområdet strækker sig fra divergens/konvergensnittet og 450 m nedstrøms for tilkørsler og 450 m opstrøms ved frakørsler.

Figur 2 og 3 viser influensområdet ved tilkørsler og frakørsler. Figuren viser ligeledes hvordan hvert målesnit antages at kunne repræsentere trafiksituationen i ét vejsegment i influensområdet. Influensområdet består således af 9 segmenter som har en længde på 75-150 m og som hver dækker ét kørespor. Figur 2 og 3 viser hvordan målesnit og segmenter er defineret for en tilkørsel og en frakørsel.



Figur 2. Principskitse af influensområde ved tilkørselsrampe med angivelse af målesnit og segment 1-9.



Figur 3. Principskitse af influensområde ved frakørselsrampe med angivelse af målesnit og segment 1-9.

Ved Greve til- og frakørslen er motorvejen 6-sporet men influensområdet er defineret ud fra samme princip som vist i figur 2 og 3. Kun motorvejens spor 1 og 2 er inkluderet i influensområdet.

En samlet oversigt over hvordan segmenterne er defineret for alle lokaliteter er vist i bilag 1. Pga. dataudfald har det været nødvendigt at justere nogle segmentlængder, således at de repræsenterer en større delstrækning, se bilag 1.

Bestemmelse af trafikintensitet i segment 1-9

I TRIM snittet kendes antallet af personbilenheder for hvert 5 min interval idet der findes en længdeklassifikation af køretøjerne. For Histar-målingerne er der kun registreret det samlede antal køretøjer uden længdeklassifikation. For at bestemme trafikintensiteten i hvert segment (målt som pe pr 5 min) antages det, at tunge køretøjer (>5,9 m) ikke foretager vognbaneskift i influensområdet og at tunge køretøjer (>5,9 m) på rampen ved til/frakørsler kun benytter spor 1 i influensområdet (det højre spor). Derved kan N (antal pe pr 5 min) bestemmes for alle segmenter.

Da Histar-pladerne i gennemsnit har en underregistrering på ca. 3% i antallet af køretøjer, er der ved beregning af trafikintensitet i de enkelte segmenter korrigeret således, at antal køretøjer i alle snit (over hele motorvejen) har samme antal personbilenheder som målt ved TRIM-målingerne.

Bestemmelse af N_{12} (V_{12} i HCM)

N_{12} angiver trafikken i motorvejens spor 1+2 ved flettestrækningen.

4-sporede motorveje

For tilkørsler på 4-sporede motorveje er trafikmængden i motorvejens spor 1 og 2 (N_{12}) sat lig med antallet af personbilenheder registreret i TRIM-målesnittet, dvs:

$$N_{12} = N_{Trim \text{ højre}} + N_{Trim \text{ venstre}}$$

For frakørsler på 4-sporede motorveje er N_{12} sat lig:

$$N_{12} = N_{Trim \text{ højre}} + N_{Trim \text{ venstre}} + N_{Trim \text{ rampe}}$$

dvs. N_{12} inkluderer rampetrafikken ved frakørsler.

6-sporede motorveje

For den 3-sporede tilkørsel sættes N_{12} lig trafikmængden i segment 1 og 5 ($N_{seg1} + N_{seg5}$) dvs. trafik i spor 1+2 umiddelbart før konvergenssnittet, se figur 2.

For den 3-sporede frakørsel sættes N_{12} lig trafikmængden i segment 3+7 ($N_{\text{seg3}} + N_{\text{seg7}}$), dvs. trafik i spor 1+2 umiddelbart før divergenssnittet, se figur 3.

Beregning af hastighed og densitet i influensområde

Til bestemmelse af hastighed og densitet i influensområdet benyttes de 9 målesnit på motorveje og rampe. Hvert målesnit antages at kunne repræsentere trafiksituationen i ét vejsegment på 100-150 m. Influensområdet består af 9 segmenter der tilsammen udgør en længde på 1000 m for tilkørsler og 975 m for frakørsler. Figur 2 og 3 på de foregående sider viser hvordan målesnit og segmenter er defineret for en tilkørsel og en frakørsel.

Hastighed

Middelhastigheden i et 5-min interval er for hvert segment fundet ud fra den tilhørende Histar-måling i segmentet.

Den samlede middelrejsehastighed for hele influensområdet (segment 1 til 9) er derefter fundet ud fra nedenstående formel. Her er samlede rejse længde (450m * summen af alle køretøjer) divideret med summen af rejsetiden for de enkelte segmenter).

For en tilkørsel findes hastigheden i influensområdet således:

$$V_{\text{inf}} = \frac{0,450 \cdot (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7 + N_8 + N_9)}{\frac{0,1 \cdot N_1}{V_1} + \frac{0,15 \cdot N_2}{V_2} + \frac{0,1 \cdot N_3}{V_3} + \frac{0,1 \cdot N_4}{V_4} + \frac{0,1 \cdot N_5}{V_5} + \frac{0,15 \cdot N_6}{V_6} + \frac{0,1 \cdot N_7}{V_7} + \frac{0,1 \cdot N_8}{V_8} + \frac{0,1 \cdot N_9}{V_9}}$$

hvor

V_{1-9} = Hastighed (kmt) for segment 1-9

N_{1-9} = Trafikmængde (pe pr 5 min) for segment 1-9

For en frakørsel ser formelen således ud:

$$V_{\text{inf}} = \frac{0,450 \cdot (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7 + N_8 + N_9)}{\frac{0,1 \cdot N_1}{V_1} + \frac{0,125 \cdot N_2}{V_2} + \frac{0,15 \cdot N_3}{V_3} + \frac{0,075 \cdot N_4}{V_4} + \frac{0,1 \cdot N_5}{V_5} + \frac{0,125 \cdot N_6}{V_6} + \frac{0,15 \cdot N_7}{V_7} + \frac{0,075 \cdot N_8}{V_8} + \frac{0,075 \cdot N_9}{V_9}}$$

I tilfælde hvor trafik og hastighedsdata fra et segment mangler, er segmentlængderne justeret som vist i bilag 1.

I bilag 2 er vist de målte hastigheder for hvert segment for alle lokaliteter. Hastighederne er vist som diagrammer så et samlet hastighedsprofil for hele influensområdet kan ses. Diagrammerne er udelukkende baseret på perioder uden for myldretid.

Densitet

Densiteten i et 5-min interval er for alle segmenter beregnet ud fra viden om hastighed og trafikmænge (pe) i det pågældende 5-interval.

Den samlede densitet i hele influensområdet findes ved at vægte de enkelte segmenters densitet med deres længde, dvs. for tilkørsler:

$$D_{influens} = (D_{seg1} + 1,5D_{seg2} + D_{seg3} + D_{seg4} + D_{seg5} + 1,5D_{seg6} + D_{seg7} + D_{seg8} + D_{seg9}) / 10$$

Og for frakørsler:

$$D_{influens} =$$

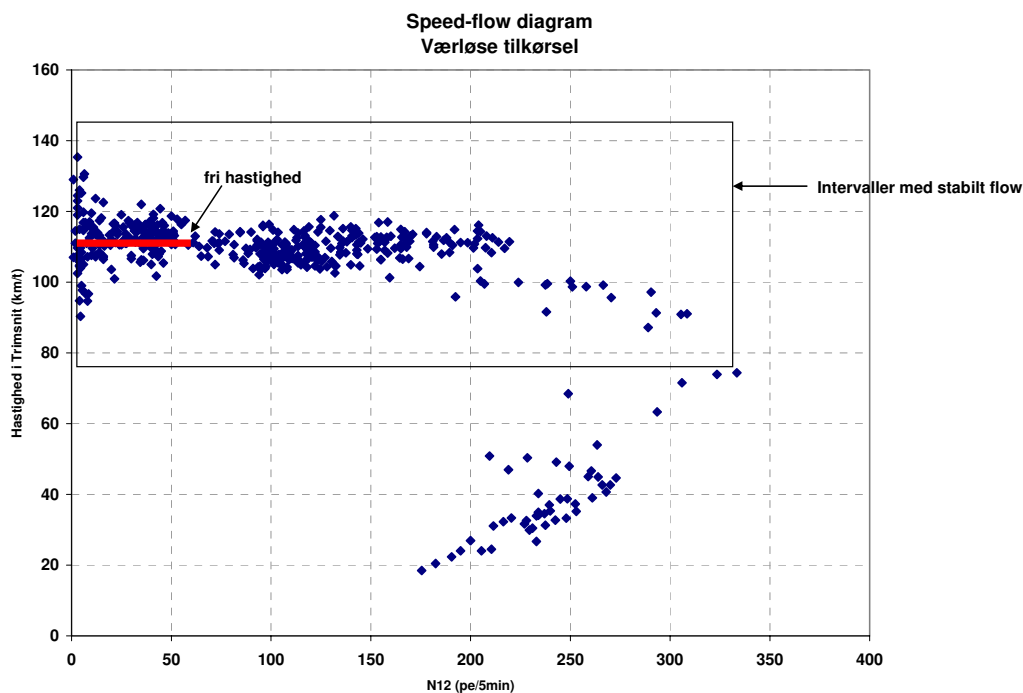
$$(D_{seg1} + 1,25D_{seg2} + 1,5D_{seg3} + 0,75D_{seg4} + D_{seg5} + 1,25D_{seg6} + 1,5D_{seg7} + 0,75D_{seg8} + 0,75D_{seg9}) / 9,75$$

Bestemmelse af stabilt flow og fri hastighed

HCM's metoder til bestemmelse af bl.a. hastighed og densitet i influensområdet, er kun gældende i situationer med stabilt flow (undersaturated flow conditions).

For at identificere 5 min intervaller hvor HCM's metode kan antages at være gældende, er der for hver til/frakørsel lavet et speed-flow diagram. Kun de 5-min intervaller der ligger på den "øverste halvdel" af speed-flow kurven, altså med trafikmængder mindre end kapacitetsgrænsen, defineres som situationer med stabilt flow, se figur 4.

Speed-flow diagrammerne er endvidere benyttet til at bestemme fri hastighed for dels motorvej og rampe, se figur 4. Fri hastighed benyttes som indgangsparametre i beregningsmetoderne i HCM.



Figur 4. Eksempel på speed-flow diagram til bestemmelse af fri hastighed og 5-min intervaller med stabilt flow.

Tabel 2 viser de fundne værdier for fri hastighed for alle lokaliteter. Alle køretøjer indgår i bestemmelse af fri hastighed.

Lokalitet	Fri hastighed (km/t)	
	Motorvej (V_{mv})	Rampe (V_r)
Buddinge tilkørsel	110	85
Buddinge frakørsel	110	90
Værløse tilkørsel	115	90
Værløse frakørsel	115	95
Greve tilkørsel	120	90
Greve frakørsel	115	95

Tabel 2. Værdier for fri hastighed på rampe og motorvej.

Analyser

Hastighed i influensområde ved tilkørsler

I HCM er angivet en metode til beregning af middelhastighed i influensområdet ved tilkørsler. Metoden er beskrevet ved formel 25-19 i HCM og er gengivet herunder:

$$V_{\text{influens}} = V_{mv} - (V_{mv} - 67) \cdot M$$

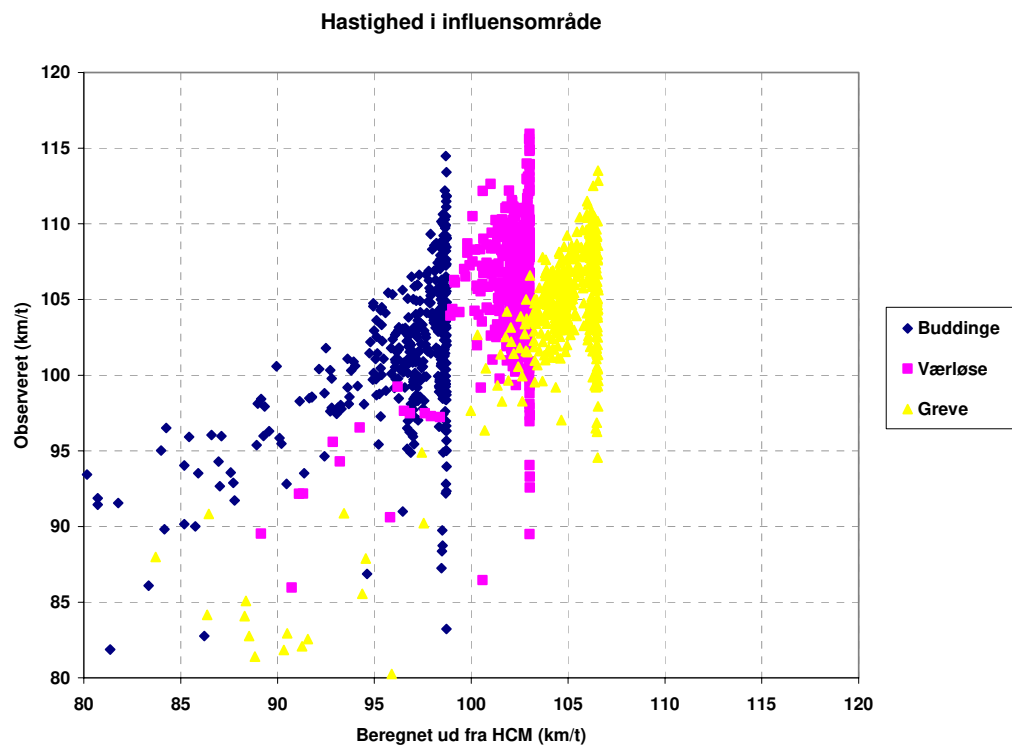
$$M = 0,321 + 0,0039 \cdot \exp((N_{12} + N_R) / 1000) - 0,004 \cdot (L_A \cdot V_r / 1000)$$

hvor:

V_{influens}	=	hastighed i influensområde (km/t)
V_{mv}	=	fri hastighed på motorvej umiddelbart opstrøms i forhold til influensområde (km/t)
V_r	=	fri hastighed på rampe (km/t)
N_{12}	=	trafikmængde i spor 1+2 (pe/time)
N_R	=	trafikmængde på rampe (pe/time)
L_A	=	længde af flettestrækning/kilegab (m)

Formlen kan bruges ved stabile trafiksituationer.

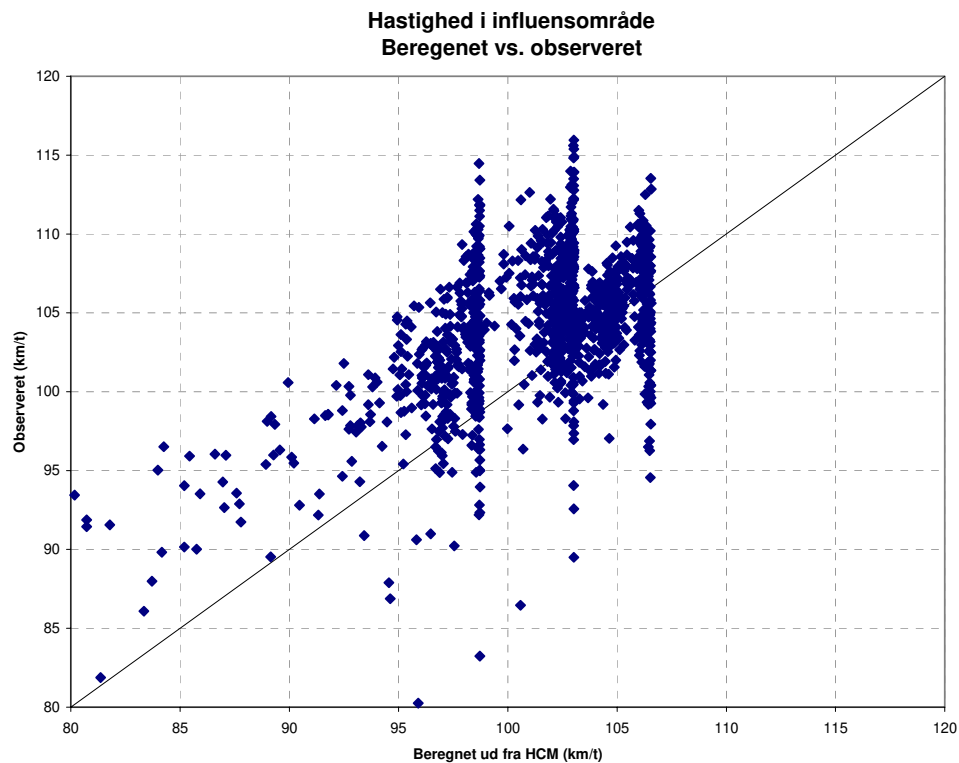
Til vurdering af formlens gyldighed for danske tilkørsler, benyttes de observerede data for Buddinge, Værløse og Greve som sammenholdes med formlens beregnede hastighed. En sammenligning af de beregnede hastigheder og de målte hastigheder i influensområdet er vist i figur 5. Hver prik repræsenterer et 5 min interval.



Figur 5. Observeret hastighed i influensområde sammenholdt med beregnede værdier fra HCM.

De beregnede hastigheder passer ikke særlig godt med de målte hastigheder. Der er tydelig forskel på de tre lokaliteter og en tydelig øvre grænse for de beregnede hastigheder.

Medtages kun 5-min intervaller med stabilt trafikflow for alle tre lokaliteter samlet, fås et plot som vist i figur 6. Ej heller ved stabilt flow passer HCM's beregningsmetode særlig godt med de observerede hastigheder. Der ses en tydelige systematisk skævhed i de målte og beregnede hastigheder.



Figur 6. Observeret og beregnet hastighed i influensområde ved stabilt flow for alle tre lokaliteter samlet..

Formel 25-19 er forsøgt genberegnet ud fra danske data ved stabilt flow.

Resultatet bliver:

$$V_{influens} = V_{mv} - (V_{mv} - 67) \cdot M$$

hvor

$$M = -0,131 + 0,0037 \cdot \exp((N_{12} + N_R) / 1000) + 0,0179 \cdot (L_A \cdot V_r / 1000)$$

Modellen har en R^2 på kun 0,23 og et plot af de beregnede værdier vs. de observerede viser samme tendens som i figur 6, dvs. uden særlig god overensstemmelse.

Værdien '67' i formlen er endvidere forsøgt ændret til andre værdier (80,85 og 90) uden at det giver væsentlige forbedringer.

Flere forskellige modeller er afprøvet på de danske data for at finde en bedre beskrivelse. Umiddelbart er en model som vist herunder tilsyneladende en smule bedre end HCMs.

$$V_{influens} = a + b \cdot V_{mv} + c \cdot \exp((N_{12} + N_R) / 1000) + d \cdot (N_{12} / 1000) + e \cdot V_r(N_r / 1000)$$

hvor

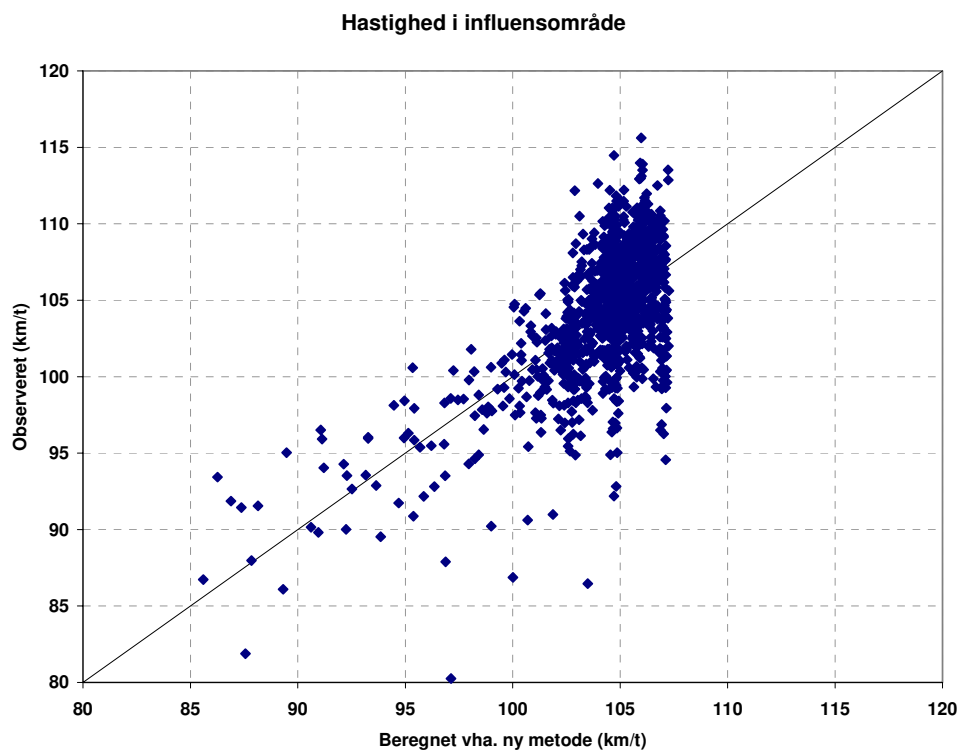
- $V_{influens}$ = hastighed i influensområde (km/t)
 V_{mv} = fri hastighed på motorvej umiddelbart opstrøms i forhold til influensområde (km/t)
 V_r = fri hastighed på rampe (km/t)
 N_{12} = trafikmængde i spor 1+2 (pe/time)
 N_R = trafikmængde på rampe (pe/time)

Modellen giver værdier som vist herunder:

$$V_{influens} = 78,8 + 0,239 \cdot V_{mv} - 0,156 \cdot \exp(N_{12} + N_R) / 1000 - 0,738 \cdot (N_{12} / 1000) + 0,0361 \cdot V_r \cdot (N_r / 1000)$$

med en R^2 på 0,41.

Et plot af de beregnede og observerede værdier er vist i figur 7.



Figur 7. Beregnede hastigheder vha. af ny formel og observerede hastigheder.

Som det ses, beskrives de observerede hastigheder ikke specielt godt ud fra modellen, men dog lidt bedre end HCM's metode. Det anbefales at undersøge og

afprøve flere metoder til at beskrive hastighed i influensområdet så en mere tilfredsstillende metode kan findes.

Densitet i influensområde ved tilkørsler

I HCM er angivet en formel til bestemmelse af densitet i influensområdet for rampetilkørsler (se formel 25-5). Formlen er angivet som:

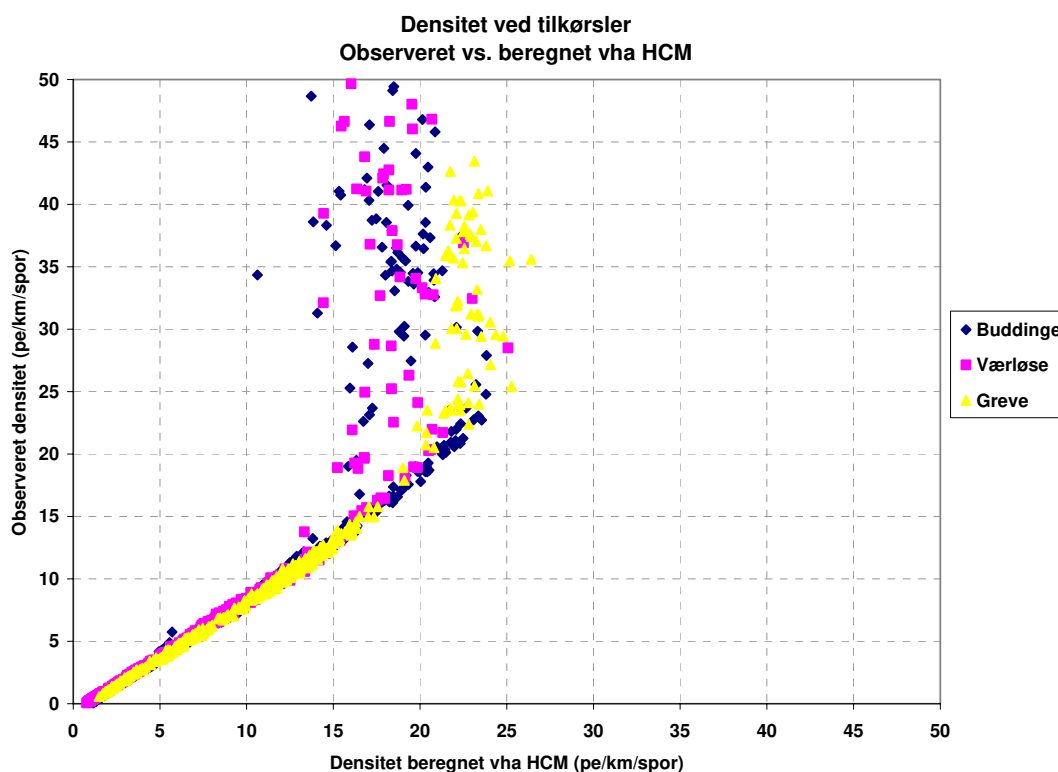
$$D_{influens} = 3,402 + 0,00456N_R + 0,0048N_{12} - 0,01278L_A \quad (25-5)$$

hvor:

- $D_{influens}$ = densitet i influensområde (pe/km/spor)
 N_R = trafik på rampe (pe/time)
 N_{12} = trafik på motorvej i spor 1+2 (pe/time)
 L_A = længde af flettestrækning/kilegab (m)

Formlen er gældende for tilkørsler med 1 spor og kun ved stabile trafiksituationer.

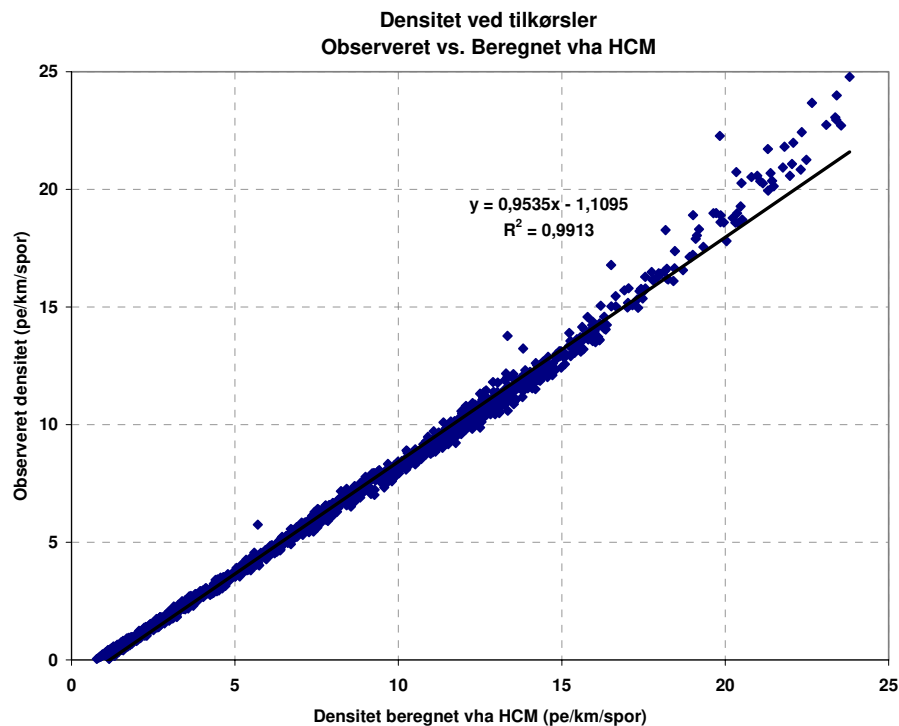
Til vurdering af formlens gyldighed for danske tilkørsler, benyttes de observerede data for Buddinge, Værløse og Greve som sammenholdes med formlens beregnede densitet. Figur 8 viser et plot med de observerede værdier og de beregnede vha. af formelen. Hver prik repræsenterer et 5 min interval.



Figur 8. Observeret densitet sammenholdt med beregnet ud fra HCM. Alle 5-min intervaller.

Punktsværmen øverst i figur 8 repræsenterer 5-min intervaller hvor stabilt flow ikke er tilstede. Tilsyneladende er der god overensstemmelse mellem de 3 lokaliteter.

For 5-min intervaller med stabilt flow passer HCM nogenlunde med de observerede data, se figur 9. HCM's værdier er dog ca. 5-15% større end de observerede.



Figur 9. Observeret densitet sammenholdt med beregnede værdier fra HCM. Kun 5 min intervaller ved stabilt flow for alle tre lokaliteter samlet.

En genberegning af konstanterne i formel 25-5 baseret på danske data er foretaget. Resultatet er vist herunder. Kun 5-min intervaller med en stabil trafiksituation er medtaget.

Formel 25-5 baseret på danske data ser således ud:

$$D_{\text{influens}} = 2,310 + 0,00532N_R + 0,00446N_{I2} - 0,0131L_A \quad (25-5 DK)$$

Modellen har en R^2 på 0,99.

I forhold til HCM's værdier kan det ses, at rampetrafikken tillægges lidt mere betydning for densiteten ved danske forhold.

Hastighed i influensområde ved frakørsler

I HCM er angivet en metode til beregning af middelhastighed i influensområdet ved frakørsler. Metoden er beskrevet ved formel 25-19 i HCM og er gengivet herunder:

$$V_{\text{influens}} = V_{mv} - (V_{mv} - 67) \cdot M$$

$$M = 0,883 + 0,00009 \cdot N_R - 0,008 \cdot V_R$$

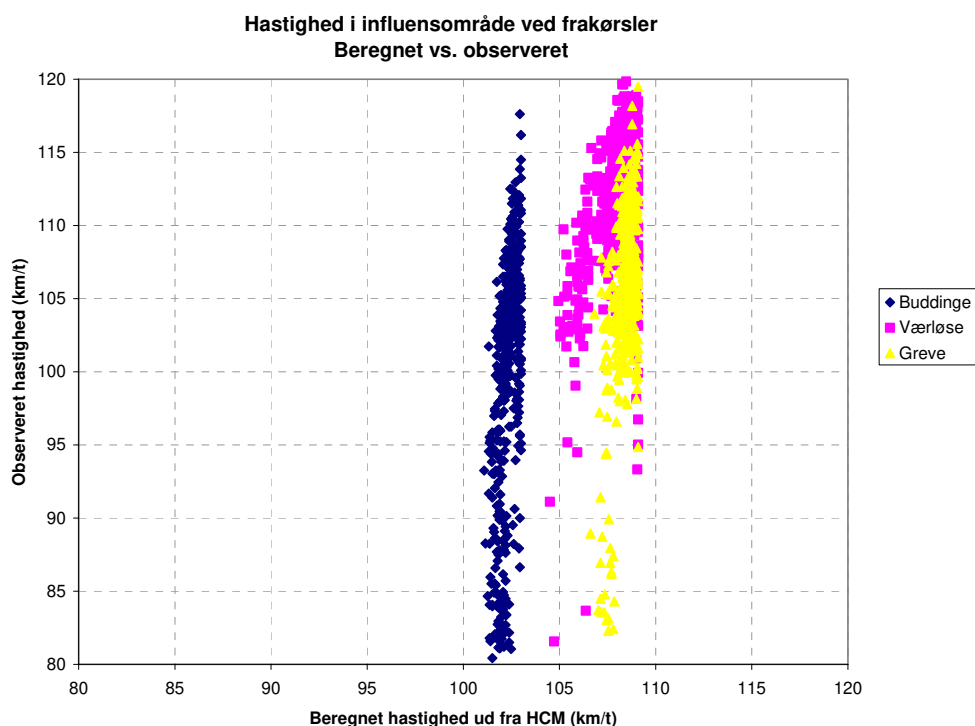
hvor:

V_{influens}	=	hastighed i influensområde (km/t)
V_{mv}	=	fri hastighed på motorvej umiddelbart opstrøms i forhold til influensområde (km/t)
V_r	=	fri hastighed på rampe (km/t)
N_R	=	trafikmængde på rampe (pe/time)

Formlen kan bruges ved stabile trafiksituationer.

Til vurdering af formlens gyldighed for danske frakørsler, benyttes de observerede data for Buddinge, Værløse og Greve som sammenholdes med formlens beregnede hastighed.

En sammenligning af de beregnede og målte hastigheder i influensområdet er vist i figur 10. Hver prik repræsenterer et 5 min interval.



Figur 10. Beregnede og observerede hastigheder i influensområde.

HCM's metode til beregning af hastighed i influensområdet ved frakørsler passer meget dårligt. Metodens beregnede hastigheder giver næsten ens værdier for hver lokalitet (f.eks. ca. 103 km/t for Buddinge) hvilket slet ikke passer overens med de målte værdier (som for Buddinge ligger i området 80-115 km/t). Frasorteres de få 5-min intervaller hvor trafikken ikke er stabil, fås samme resultat.

En model af formen

$$V_{influens} = a + b \cdot V_{mv} + c \cdot \exp(N_{12}/1000) + d \cdot (N_{12}/1000) + e \cdot V_r \cdot N_r / 1000$$

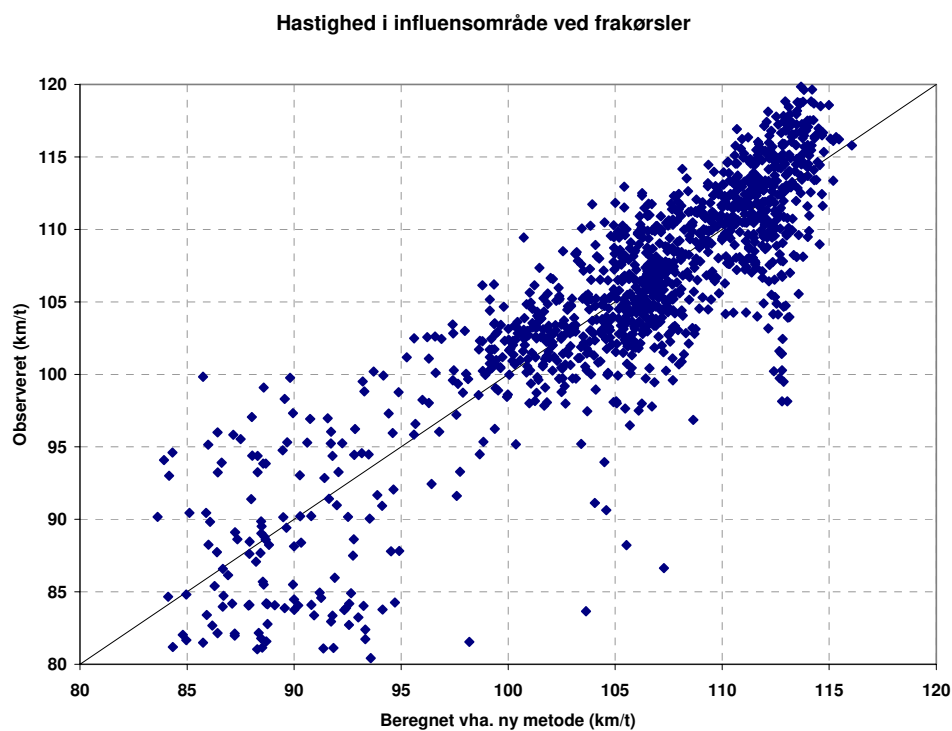
er forsøgt tilpasset på de danske data.

Resultatet bliver:

$$V_{influens} = 5,24 + 0,944 \cdot V_{mv} - 0,174 \cdot \exp(N_{12}/1000) - 3,94 \cdot N_{12}/1000 + 0,2 \cdot V_r \cdot N_r / 1000$$

Modellen har en R^2 på 0,76.

Figur 11 viser et plot med de beregnede hastigheder vha. af ovenstående formel sammenholdt med de målte værdier.



Figur 11.. Observeret og beregnet hastighed i influensområde vha. af ny formel for alle tre lokaliteter samlet.

Figur 11 viser at denne model passer noget bedre, men at der stadig er stor forskel på de observerede og beregnede hastigheder. Det er især de observerede hastigheder ved tæt trafik (nær kapacitetsgrænsens) som modellen har meget svært ved at beskrive.

Det anbefales at undersøge og afprøve flere metoder til at beskrive hastighed i influensområdet så en mere tilfredsstillende metode kan findes.

Densitet i influensområde ved frakørsler

I HCM er angivet en formel til bestemmelse af densitet i influensområdet for rampefrakørsler (se formel 25-10). Formlen er angivet som:

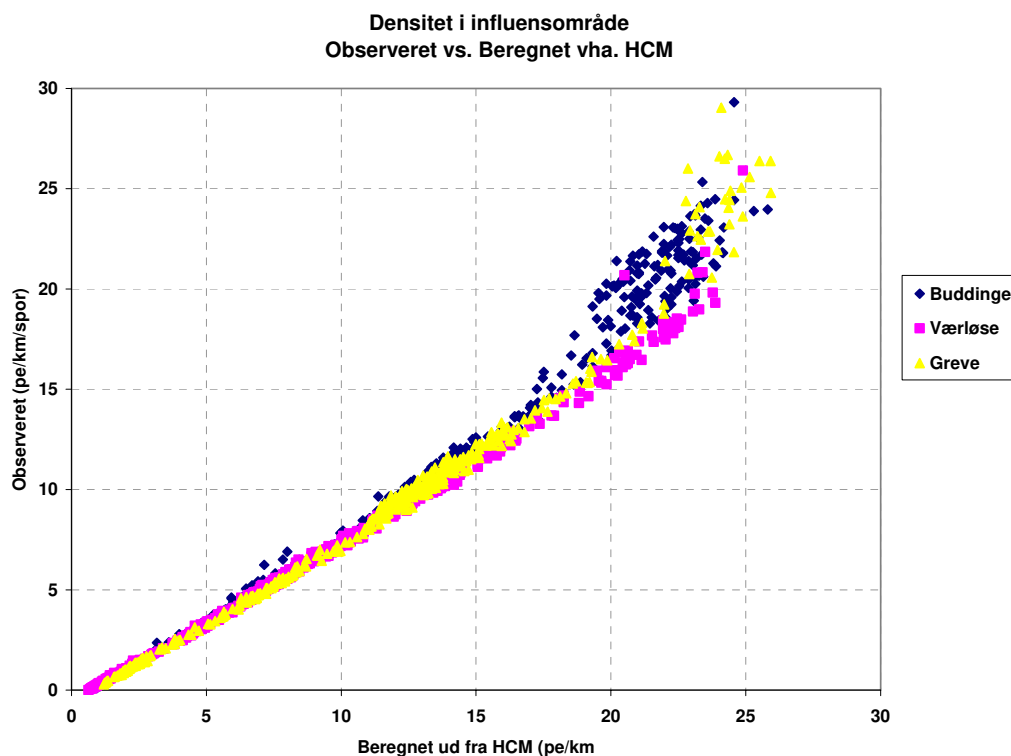
$$D_{influens} = 2,642 + 0,0053N_{12} - 0,0183L_A \tag{25-10}$$

hvor:

- $D_{influens}$ = densitet i influensområde (pe/km/spor)
- N_{12} = trafik på motorvej i spor 1+2 (pe/time)
- L_A = længde af flettestrækning/kilegab (m)

Formlen er gældende for frakørsler med 1 spor og kun ved stabile trafiksituationer.

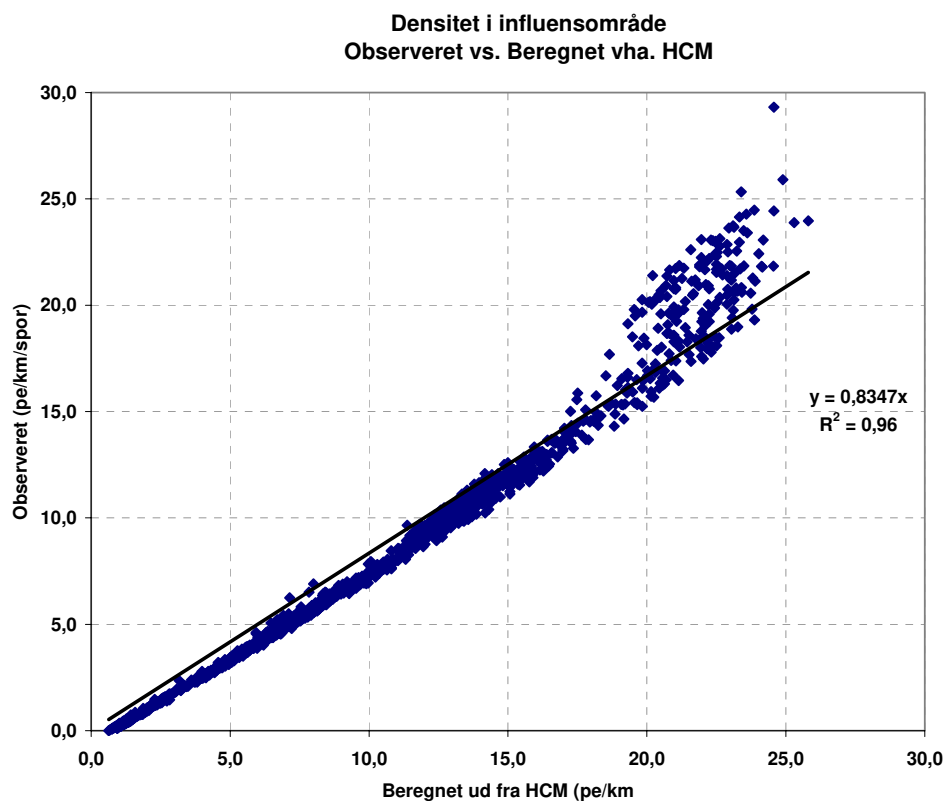
Til vurdering af formlens gyldighed for danske tilkørsler, benyttes de observerede data fra Buddinge, Værløse og Greve som sammenholdes med formlens beregnede densitet. Figur 12 viser et plot med de observerede værdier og de beregnede vha. af formelen. Hver prik repræsenterer et 5 min interval.



Figur 12. Beregnet og observeret densitet i influensområde ved frakørsler.

Der er god overensstemmelse mellem de tre lokaliteter. I området med målte densiteter < 15 pe/km/spor er de beregnede værdier dog generelt for store.

Medtages kun de intervaller hvor en stabil trafiksituation findes, ser det tilsvarende plot ud som vist i figur 13.



Figur 13. Beregnet og målt densitet ved stabilt flow for alle tre lokaliteter samlet.

I gennemsnit skal de beregnede værdier baseret på HCM ganges med en faktor 0,83 for at passe til danske forhold, se figur 13. HCM's beregnede densitet ved frakørsler er altså ca. 20% for store.

En genberegning af HCM's formel 25-10 baseret på danske data ved stabilt flow ser således ud:

$$D_{influens} = 5,551 + 0,0049N_{12} - 0,0606L_A \quad (25-10 DK)$$

hvor:

- $D_{influens}$ = densitet i influensområde (pe/km/spor)
- N_{12} = trafik på motorveje i spor 1+2 (pe/time)
- L_A = længde af flettestrækning/kilegab (m)

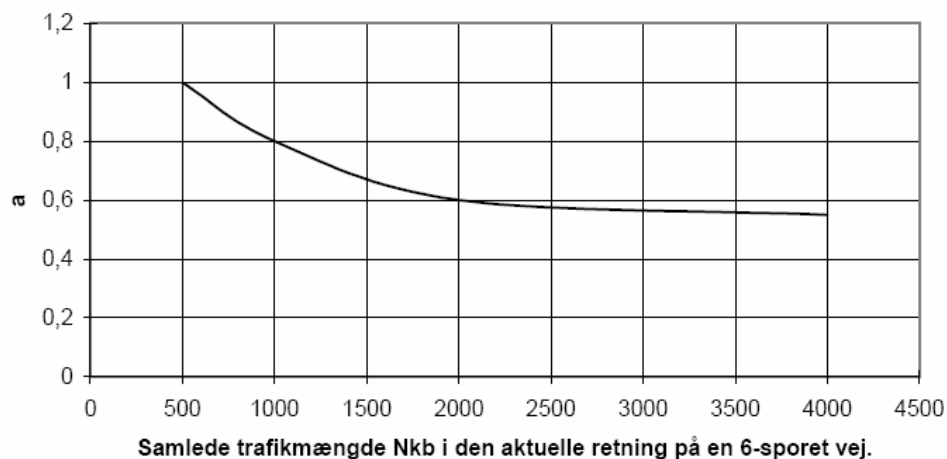
Modellen har en R^2 på 0,99.

Andel af gennemkørende trafik i spor 1+2

I forbindelse med beregning af hastighed og densitet i influensområdet kræves kendskab til mængden af trafik i spor 1+2. For 4-sporede motorveje er andelen af trafik i spor 1+2 lig 1, mens andelen for 6-sporede motorveje typisk være afhængig af den samlede trafikmængde på motorvejen.

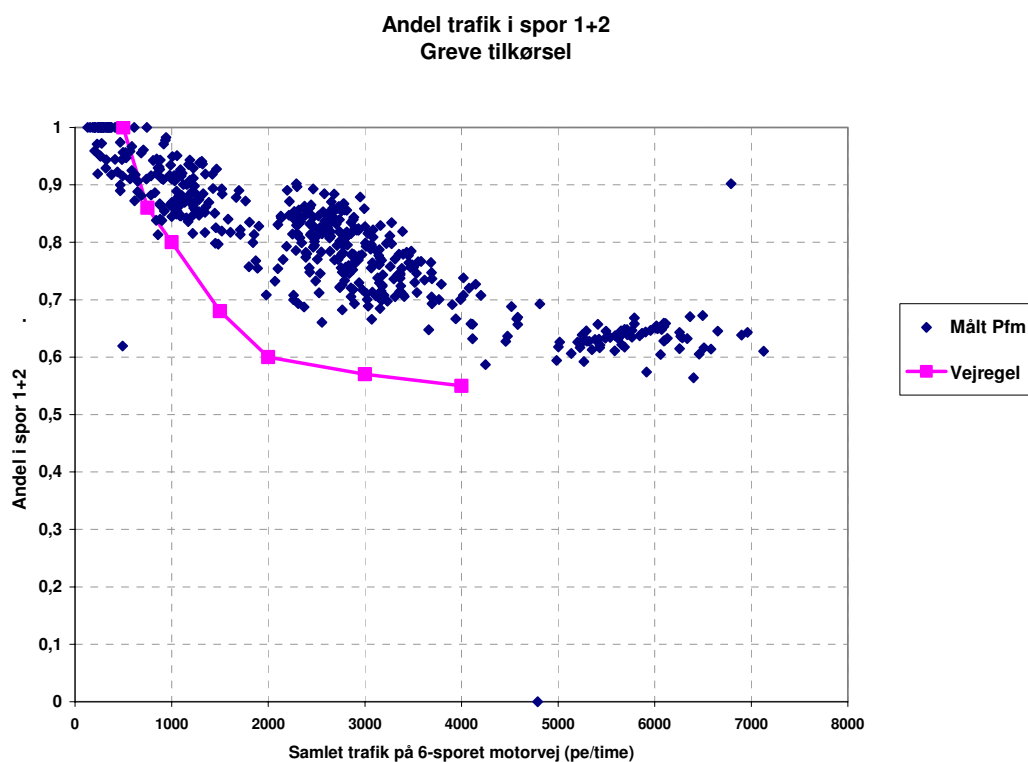
I HCM [2] angives en række formler til bestemmelse af andel trafik i spor 1+2 for 6-sporede motorveje - dels ved tilkørsler og dels ved frakørsler. I HCM kaldes andelen for P_{FM} ved tilkørsler og P_{FD} ved frakørsler.

I Kapacitet og serviceniveau [1] kan andelen (kaldet a) aflæses fra en figur, se figur 14. Figuren benyttes tilsyneladende både for til- og frakørsler. Oprindelsen er ukendt.



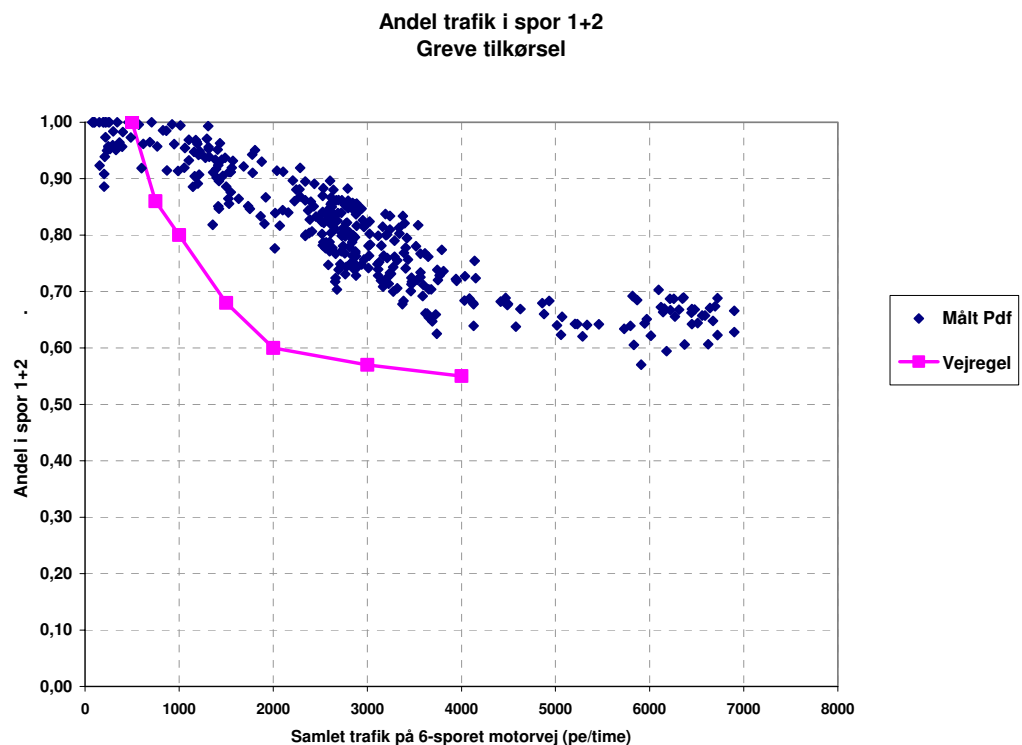
Figur 14. Parameteren a for en 6-sporet motorvej. Fra [1]

Et plot af de målte værdier for P_{FM} (a) ved Greve tilkørsel sammenlignet med Vejreglernes anbefalede værdier er vist i figur 15. Som det ses, er de målte værdier for P_{FM} generelt en del større end Vejreglernes anbefalinger.



Figur 15. Målte værdier af P_{FM} ved Greve tilkørsel sammenholdt med anbefalinger fra Vejreglerne.

Et plot af de målte værdier for P_{DF} ved Greve frakørsel sammenlignet med Vejreglernes er vist i figur 16. Som det ses, er de målte værdier af P_{DF} noget større end Vejreglernes anbefalinger.



Figur 16. Målte værdier af P_{DF} ved Greve frakørsel sammenholdt med anbefalinger fra Vejreglerne.

De målte værdier af P_{FM} og P_{DF} er ikke forsøgt sammenlignet med HCM. Ingen af HCM's formler synes realistiske for danske forhold.

De parametre som indgår i HCM's formler (trafikmængde på motorvej og rampe, hastighed på rampe samt afstand til nærliggende rampe) anses dog alle betydningsfulde.

Erfaringer fra [5] og [6] viser, at antallet af vognbaneskift i fletteområdet afhænger af rampetrafikantens indfletningshastighed og at indfletningshastigheden i høj grad afhænger af rampens længde (fra rampestart til konvergenssnit). Disse parametre bør derfor indgå i formlen til bestemmelse af f.eks. P_{FM} . Afstand til nærliggende rampe har formentlig også betydning. For til/frakørselsramper vil situationen dog ofte være den samme da de typisk optræder parvis med ca. 800 -1200 m afstand

Et forsøg på at beskrive en simpel sammenhæng mellem de målte værdier for P_{FM} og P_{DF} er prøvet. Desværre er det ikke muligt at inddrage fri hastighed på rampe i modellen, da der kun optræder én rampe i datamaterialet.

De afprøvede modeller er:

$$P_{FM} = a + b \cdot N_R + c \cdot (N_{mv})^2 + d \cdot N_{mv}$$

$$P_{DF} = a + b \cdot N_R + c \cdot (N_{mv})^2 + d \cdot N_{mv}$$

hvor

N_R = trafik på rampe (i 1000 pe/time)

N_{mv} = samlet trafik på motorvej (i 1000 pe/time)

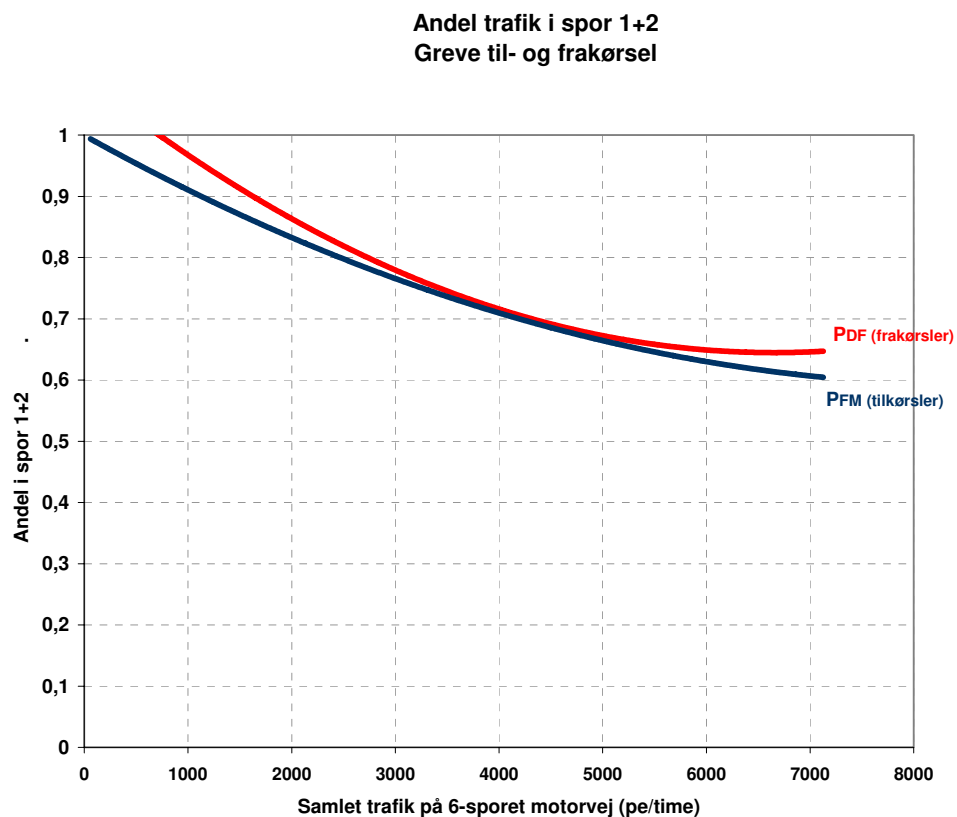
Afprøves disse modeller på data fra Greve til/frakørslen fås følgende resultater:

$$P_{FM} = 1,00 - 0,0315 \cdot N_R + 0,00597 \cdot (N_{mv})^2 - 0,0936 \cdot N_{mv}$$

$$P_{DF} = 1,08 + 0,3 \cdot N_R + 0,010 \cdot (N_{mv})^2 - 0,152 \cdot N_{mv}$$

Modellerne har en R2 på henholdsvis 0,87 og 0,82.

Et alternativ til ovenstående formler er at benytte figur 17 der illustrerer P_{FM} og P_{DF} som funktion af blot N_{mv} . Som det ses er der ikke den store forskel på til- og frakørsler.



Figur 17. P_{FM} og P_{DF} som funktion af trafik på motorvej.

Opsamling

HCM's metode til beregning af hastighed og densitet i influensområdet ved motorvejs til- og frakørsler er vurderet ud fra målinger foretaget ved tre danske lokaliteter.

Kort fortalt viser undersøgelsen at:

- HCM's metode til beregning af hastighed i influensområdet passer dårligt til de observerede danske værdier. En ny og lidt bedre metode til bestemmelse af hastighed i influensområdet er præsenteret, men det anbefales at studere og efterprøve andre metoder så et mere nøjagtigt estimat på hastigheden kan bestemmes.
- HCM's metode til beregning af densitet i influensområdet giver for store værdier. Det gælder både for til- og frakørsler. HCM's værdier er ca. 5-20% for store. En genberegning af parametrene i HCM's model er foretaget på danske data og en mere præcis model er præsenteret.
- Den i Vejreglerne anviste metode til beregning af andel trafik i spor 1+2 på en 6-sporet motorvej passer kun tilnærmelsesvis. Generelt er de anbefalede værdier for lave, dvs. at koncentrationen af trafik i spor 1+2 er større end antaget. En ny simpel metode til bestemmelse af trafik i spor 1+2 er præsenteret, baseret på data fra Greve til/frakørslen.

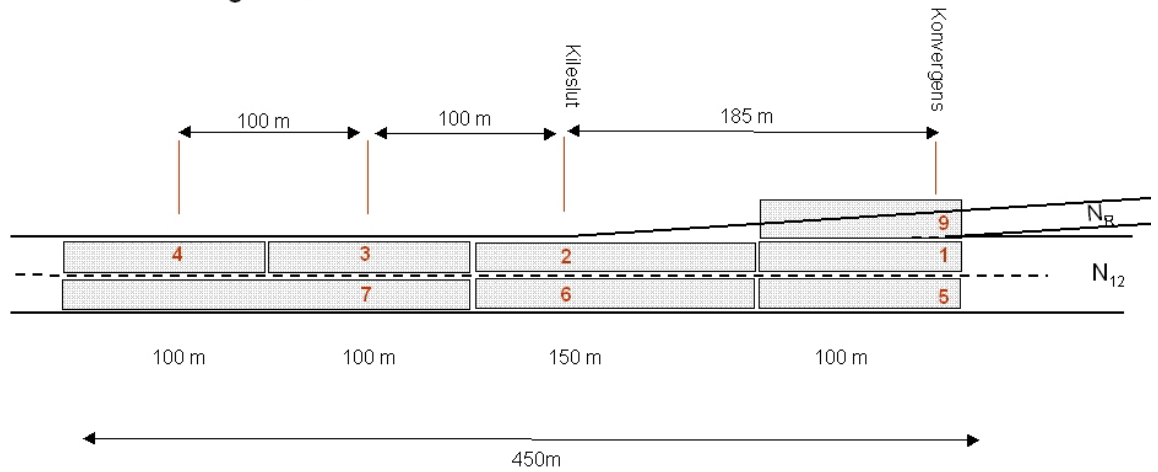
Referencer

- [1] *Kapacitet og serviceniveau*
Vejdirektoratet – Vejregelrådet. Juli 1999
- [2] *Highway Capacity Manual (HCM 2000)*
Transportation Research Board. 2000
- [3] *Undersøgelse af serviceniveau for til- og frakørsler ved motorveje*
Projekt oplæg. Henning Sørensen, Vejdirektoratet. Januar 2005
- [4] *Kalibrering af Histar-målinger i forbindelse med til- og frakørsler på motorveje.*
Arbejdsnotat. Poul Greibe, Trafitec, 2005
- [5] *Analyse af trafik og hastigheder på motorvejsramper.*
Notat. Poul Greibe, Trafitec. 2004
- [6] *Adfærd ved motorvejtstilslutninger.*
Notat. Poul Greibe, Puk Kristine Andersson, Trafitec 2006

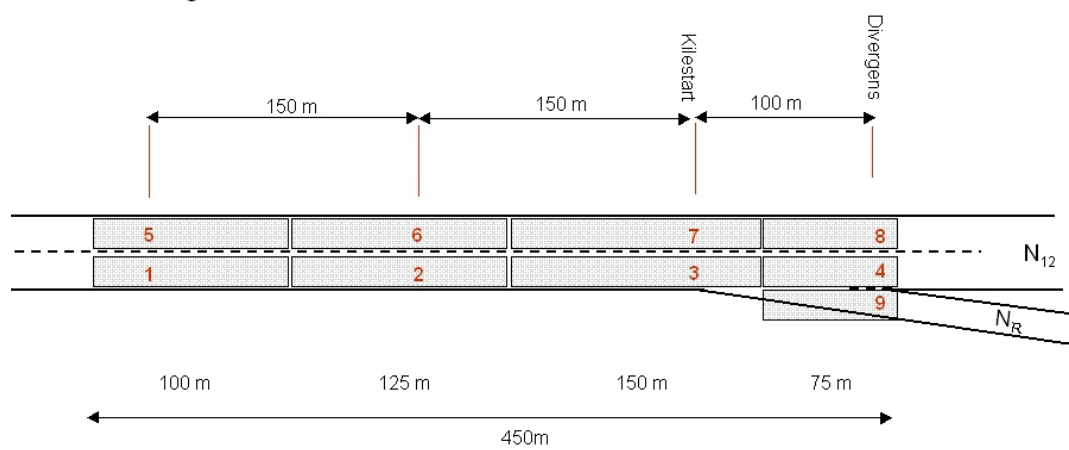
Bilag 1

Oversigt over lokaliteter med hastighedsmålesnit samt definition af delstrækninger (segmenter).

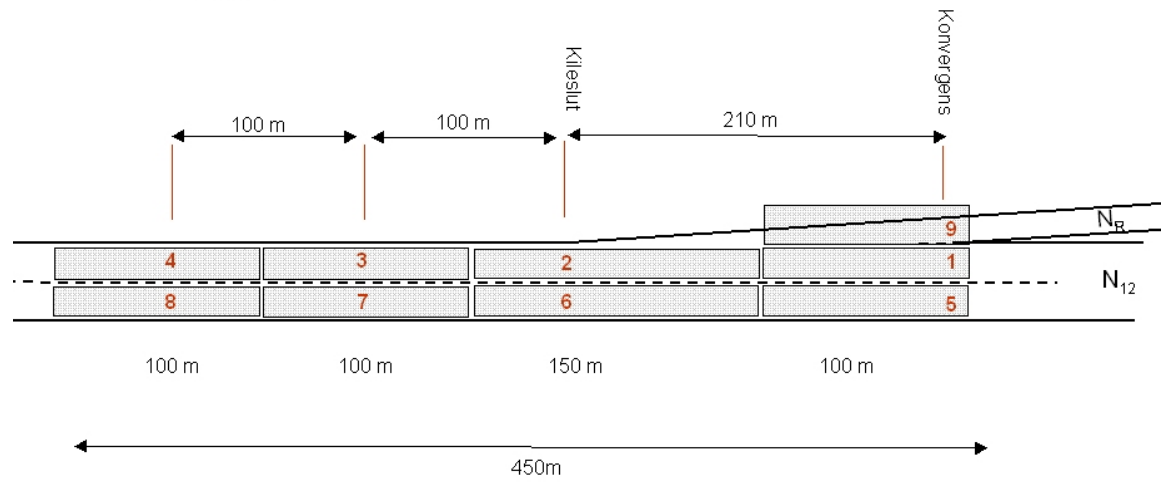
Buddinge tilkørsel



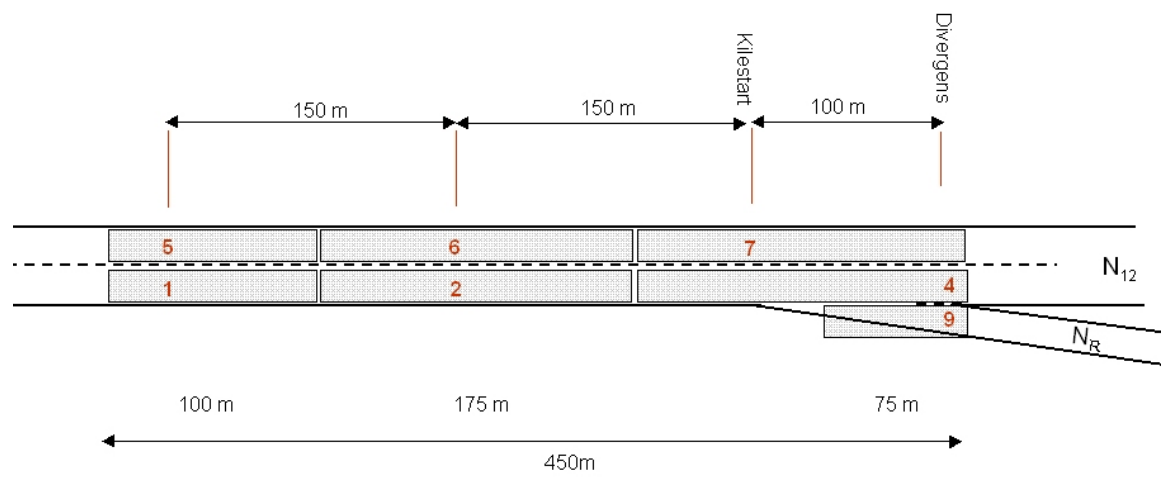
Buddinge frakørsel



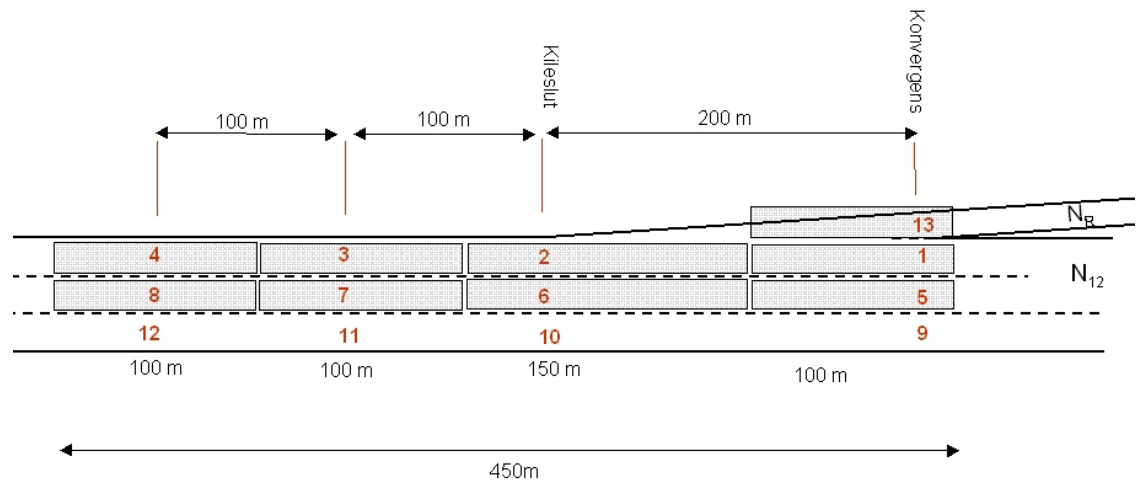
Værløse tilkørsel



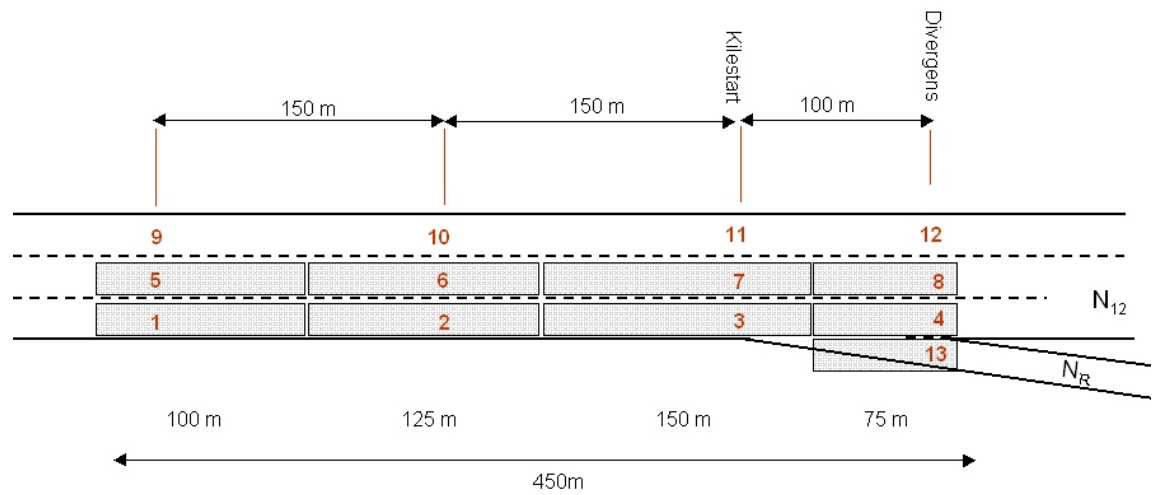
Værløse frakørsel



Greve tilkørsel

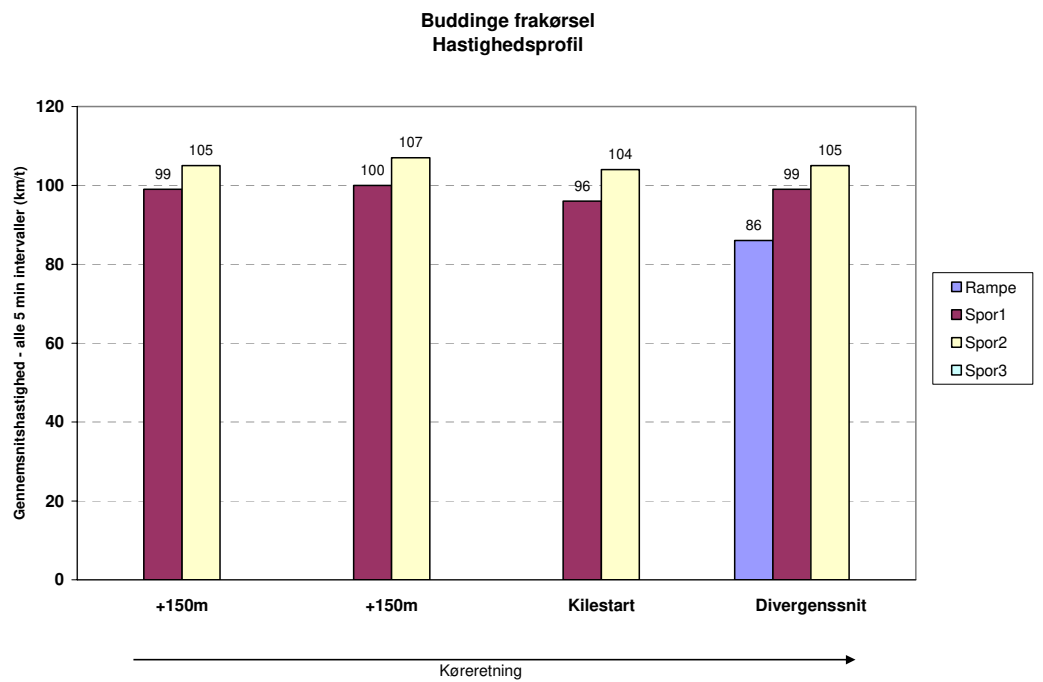
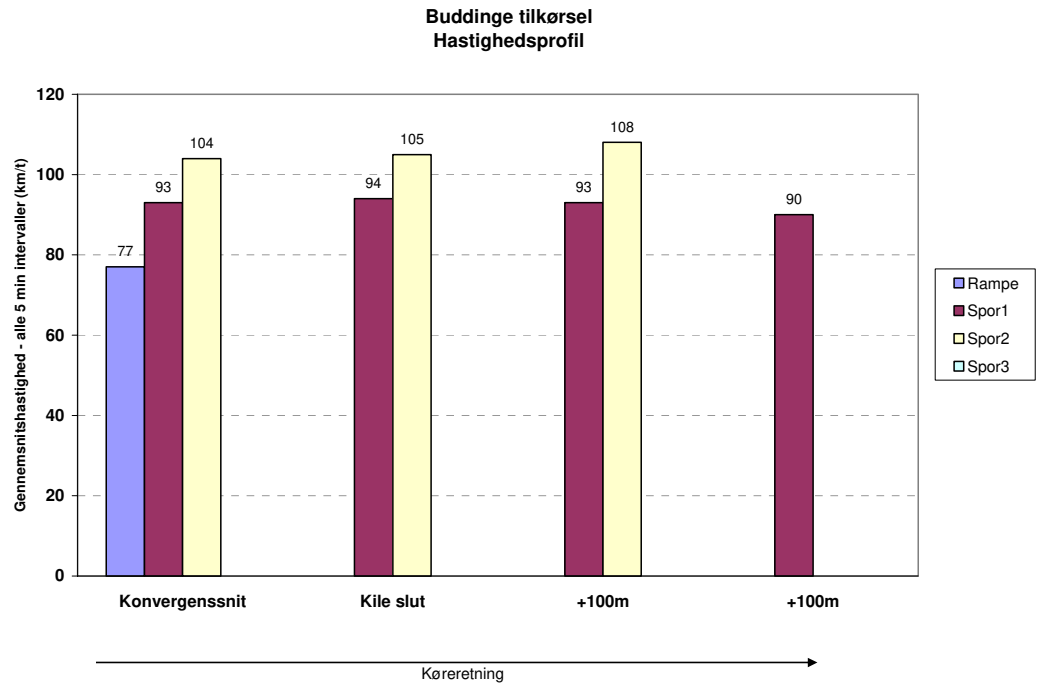


Greve frakørsel

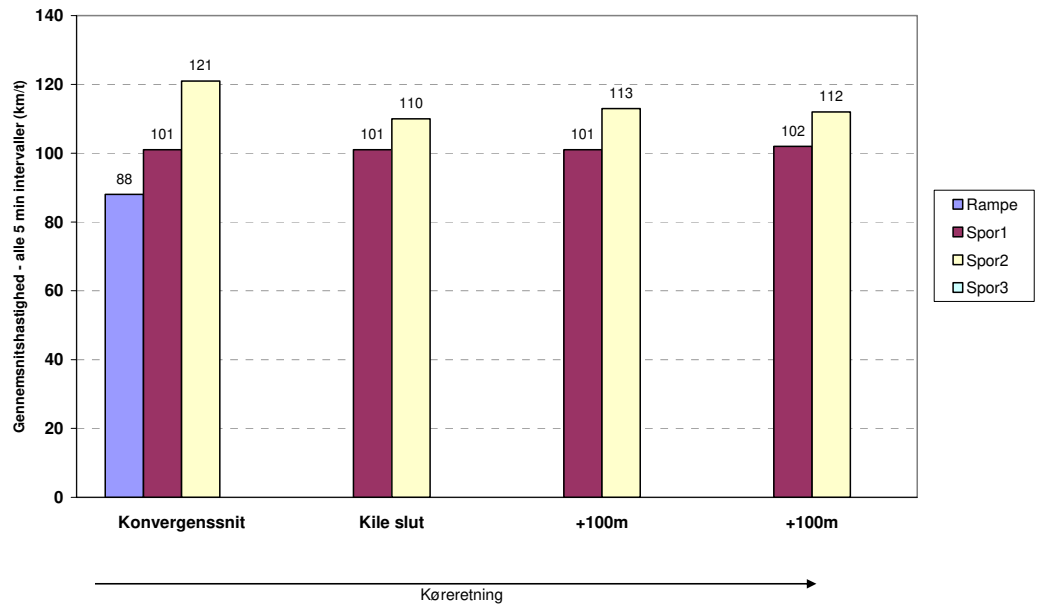


Bilag 2

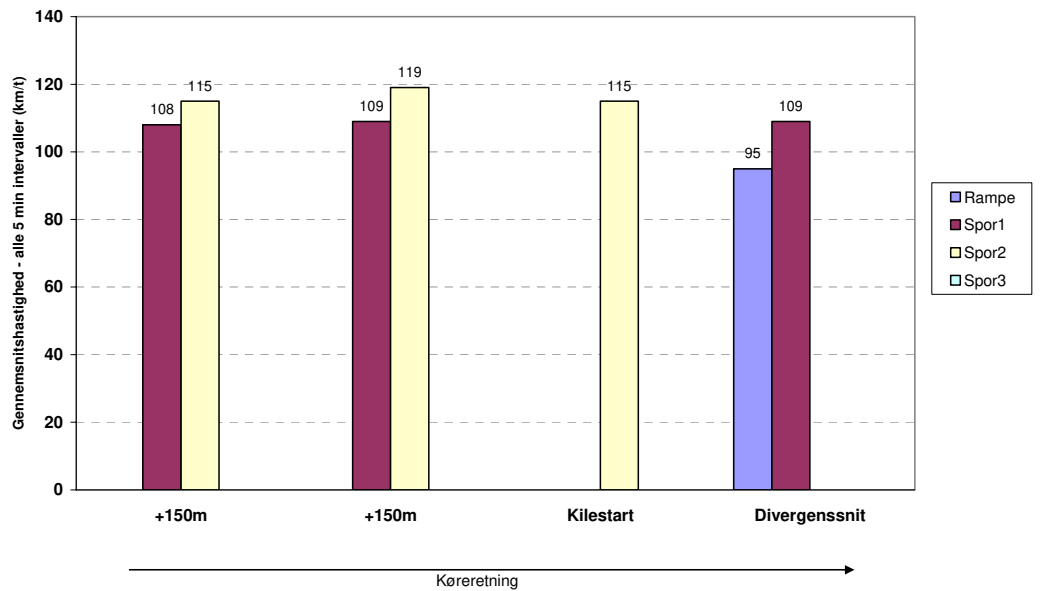
Målte gennemsnitshastigheder i de enkelte segmenter.
Kun off-peak perioder. (6:30 – 9:00 og 15:30 – 18:00 ekskluderet)



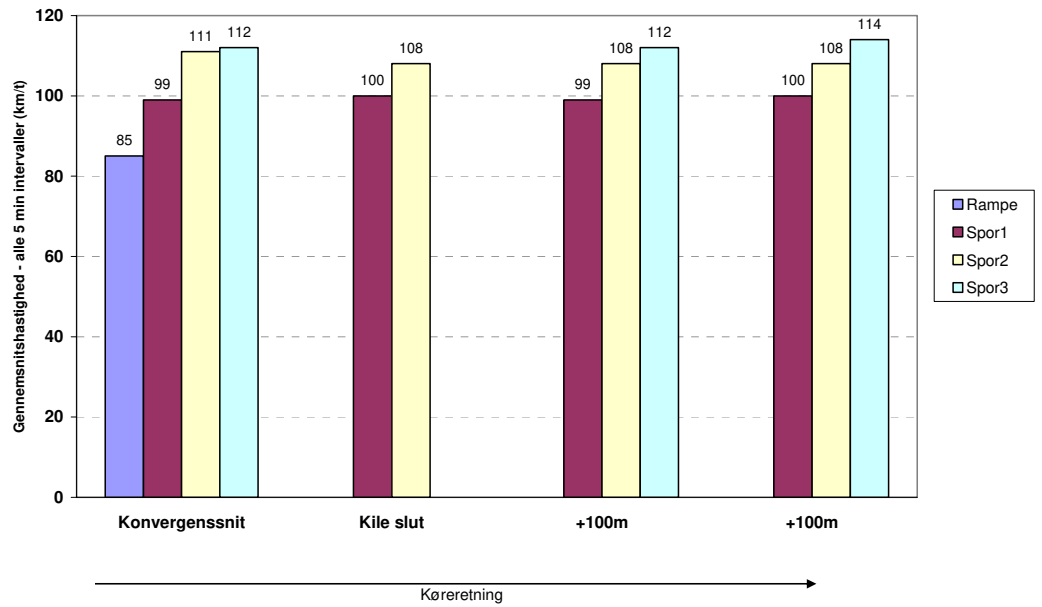
Værløse tilkørsel
Hastighedsprofil



Værløse frakørsel
Hastighedsprofil



**Greve tilkørsel
Hastighedsprofil**



**Greve frakørsel
Hastighedsprofil**

