



Tidssvarende accelerationsværdier og accelerationslængder

- i dansk vejprojekteringsregi

Afgangsprojekt
Michael Dynnweber
Aalborg Universitet
Vej- og Trafikteknik
2006



Aalborg Universitet

Vej- og trafikteknik

**Titel: Tidssvarende accelerationsværdier og accelerationslængder
- i dansk vejprojekteringsregi**

Projektperiode: 6. februar 2006- 17. juli 2006

Forfatter: Michael Dynnweber

Vejleder: Lars Juhl Poulsen

Synopsis

Denne rapport beskæftiger sig med tidssvarende accelerationsværdier og accelerationslængder i dansk vejprojekteringsregi. Formålet med projektet og denne rapport er at belyse, om de to førnævnte parametre anbefalet i det danske vejregelforslag "Toplanskryds" er tidssvarende?

De parameterværdier som anvendes i det nuværende vejregelforslag stammer fra målinger udført i slutningen af 1960'erne. Med udgangspunkt i dette er der foretaget en sammenligning med værdierne i relevante udenlandske vejregler, beregningsprogrammer, samt en undersøgelse af forskellige beregningsmodeller, som anvender og beskæftiger sig med tilsvarende parametre. Sammenligningen viser, at beregningsmodellen anbefalet i det danske vejregelforslag ikke er tidssvarende set i forhold til værdierne fra de svenske vejregler og en amerikansk undersøgelse af forskellige beregningsmodeller. Disse resulterer i kortere accelerationslængder, end længderne anbefalet i det danske vejregelforslag.

For at afgøre om de teoretiske værdier fra den førnævnte undersøgelse, svarer til den adfærd trafikanterne udviser, og dermed ikke svarer til de anbefalede værdier i vejregelforslaget, er der foretaget to forskellige målinger på udvalgte tilkørselsramper. Der er foretaget målinger med GPS for at afgøre hvor på tilkørselsrampen, et repræsentativt køretøj for den danske bilpark, opnår indfletningshastigheden. Endvidere er der foretaget hastighedsmålinger på 7 udvalgte tilkørselsramper, for at afgøre hvorpå tilkørselsramperne køretøjerne på de danske tilkørselsramper opnår indfletningshastigheden, når trafikanterne udviser en gennemsnitlig accelerationsadfærd.

Målingerne har vist, at de anbefalede værdier i det danske vejregelforslag ikke svarer til den accelerationsadfærd, som en gennemsnitlig trafikant udviser på de udvalgte tilkørselsramper. Heraf er det konkluderet, at accelerationsværdierne og accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregelforslag ikke er tidssvarende.

Det er dog vurderet, at værdierne fra de svenske vejregler eller den amerikanske undersøgelse ikke umiddelbart kan overføres til det danske vejregelforslag, idet det kræver en tilpasning til danske forhold og den danske bilpark.

Sideantal i hovedrapport: 81

Antal bilag: 2

Eksemplarer: 3

Afleveringsdato: 17. juli 2006

Forord

Følgende projektrapport er udarbejdet som afgangsprøve ved civilingeniøruddannelsen på Aalborg Universitet under specialiseringen Vej- og Trafikteknik. Det overordnede tema for dette projekt er: Tidssvarende projekteringsparametre i danske vejregler, med fokus på accelerationsværdier og accelerationslængder, som anvendes ved projektering af tilkørselsramper til motorvejsnettet i Danmark. Rapporten henvender sig til fagfolk med interesse inden for det pågældende emne.

Figur og tabelhenvisninger er gennem hele rapporten nummereret fortløbende, hvor første ciffer angiver kapitelnummeret. Kapitlerne i hovedrapporten er nummereret, mens bilag er angivet ved et bogstav og forefindes bagerst i rapporten. Litteraturhenvisninger er angivet efter Harvardmetoden, hvor der er refereret til forfatter og udgivelsesår. Ved internetkilder er der refereret til hjemmesidens hovedadresse. Litteraturhenvisninger er anvendt på to forskellige måder: Er litteraturhenvisningen placeret før et punktum eller midt i et afsnit, refererer det til den pågældende sætning. Er litteraturhenvisningen derimod placeret efter det sidste punktum i et afsnit, er litteraturen anvendt til hele det pågældende afsnit.

Egne fotografier som er taget i forbindelse med målingerne, er angivet uden kildeangivelser, ligesom egne kort produceret ved brug af GIS (Geografisk Informations System) heller ikke er angivet med kilder. Data anvendt til disse kort stammer fra Aalborg Universitets Geodatabibliotek.

Bagerst i denne rapport forefindes en cd, som indeholder de anvendte beregningsmodeller, hvortil beregningsprogrammet mathcad er anvendt samt datagrundlaget for projektet. Dette er data fra VIS, accelerationslængder fra to alternative modeller samt data fra hastighedsmålingerne på de udvalgte tilkørselsramper. Dette betyder at rapporten ikke indeholder detaljerede beskrivelse og eksempler på beregningsgangen, hvilket i stedet fremgår af den medfølgende cd.

I forbindelse med udarbejdelsen af dette projekt, skal der fra undertegnede rettes en stor tak til følgende personer:

Jens Christian Overgaard Madsen.

Der har fungeret som konsulent mht. de anvendte målemetoder.

Asta Fog Larsen.

For lån af AV- udstyr til bearbejdning af målingerne.

Halfdan Bock Andersen

For gennemlæsning og korrekturlæsning af rapporten.

Aalborg d. 17. juli 2006

Michael Dynnweber

Indholdsfortegnelse

	Indholdsfortegnelse	5
1	Indledning	7
1.1	Problemformulering	9
1.2	Afgrænsning	10
2	Accelerationsværdier og accelerationslængder i vejregler og andre undersøgelser	11
2.1	Metode	11
2.2	Danske vejregler	11
2.2.1	Accelerationsværdier	12
2.2.2	Accelerationslængder	13
2.3	Svenske vejregler	16
2.3.1	Accelerationsværdier	16
2.3.2	Accelerationslængder	18
2.3.3	Sammenligning med det danske vejregelforslag	20
2.4	Norske vejregler	21
2.4.1	Accelerationsværdier	22
2.4.2	Accelerationslængder	22
2.4.3	Sammenligning med det danske vejregelforslag	23
2.5	Engelske vejregler	23
2.5.1	Accelerationsværdier	24
2.5.2	Accelerationslængder	24
2.5.3	Sammenligning med det danske vejregelforslag	26
2.6	Tyske vejregler	26
2.6.1	Accelerationsværdier	26
2.6.2	Accelerationslængder	26
2.6.3	Sammenligning med det danske vejregelforslag	28
2.7	Amerikanske vejregler	28
2.7.1	Accelerationsværdier	28
2.7.2	Accelerationslængder	29
2.7.3	Sammenligning med det danske vejregelforslag	31
2.8	Accelerationsværdier og accelerationslængder fra beregningsmodeller og simuleringsprogrammer	32
2.8.1	Amerikansk undersøgelse af forskellige accelerationsmodeller for køretøjer	33
2.8.2	Accelerationsværdier i VISSIM	36
2.8.3	Accelerationslængder fra aaSIDRA	38
2.9	Opsummering af accelerationsværdier og accelerationslængder i forskellige udenlandske vejregler og undersøgelser	40
3	Målinger af accelerationsadfærden	43
3.1	Metode til belysning af accelerationsadfærden	43
3.2	Ramper hvorpå der foretages målinger	44
3.2.1	Kriterier for valg af rampe	45
3.2.2	Udpegning af ramper	46
3.2.3	Beskrivelse af forhold ved de udvalgte tilkørselsramper	48
3.3	Valg af repræsentativt køretøj	55
3.4	Måling med GPS logger	57
3.4.1	Resultater fra GPS logningen	58
3.5	Måling af snithastigheder	61
3.5.1	Resultater fra målinger af snithastigheder	68
3.5.2	Generalisering af resultaterne fra målingerne på de 7 tilkørselsramper	70
3.6	Opsummering af resultaterne fra målingerne	71

4	Konklusion	73
5	Perspektivering	77
	Litteraturliste	79

1 Indledning

Dette projekt beskæftiger sig med accelerationsværdier og accelerationslængder på tilkørselsramper til motorveje i dansk vejprojekteringsregi.

I Danmark er der en lang tradition for udarbejdelse af vejregler, som skal sikre et ensartet og trafiksikkert vejnet i Danmark. Første udkast til vejreglerne er fra 1964 [Vejdirektoratet, 1970]. Det ensartede og trafiksikre vejnet bidrager til, at trafikanten oplever en følelse af sikkerhed, når denne færdes på vejnettet. Dette skyldes at trafikanten altid vil være bekendt med lignende trafikale elementer og dermed være vidende om, hvorledes der skal ageres ved de givne udformninger. Vejreglerne er baseret på nyeste viden og bedste praksis indenfor de forskellige fagområder, og fungerer som anbefalinger for den samlede vejbranche. Dog er nogle af vejreglerne også udformet som deciderede regler eller normer, som skal efterleves. Reglerne er bredt forankret i vejbranchen, da forskellige interesseparter og fagfolk bistår ved udarbejdelsen af vejreglerne. Udarbejdelsen af vejreglerne foregår inden for følgende tre fagområder: [Vejdirektoratet.dk, 2006]

- Udformning og indretning af trafiksystemet
- Anlæg, drift og vedligeholdelse af anlæg og bygværker
- Auditøruddannelse

Ved planlægning, udformning og indretning af trafiksystemet i Danmark, og herunder projektering af nye vejanlæg, anvendes ofte parametre fra de danske vejregler til bestemmelse af minimumsværdier for horisontale og vertikale kurveradier, vejbredder, accelerationslængder, etc. Disse parametre har afgørende betydning for trafiksikkerheden, projektets økonomi, fremkommeligheden mm. Derfor er det væsentligt, at parametrene er opdateret og løbende tilpasset kravene fra samfundet, den teknologiske udvikling og andre faktorer, der kan føre til ændringer af de nuværende parametre. Er parametrene ikke tilpasset og opdateret til nutidens samfund, kan dette føre til unødvendig brug af ressourcer og indgreb i landskabet, som samfundet ville være besparet for, hvis parametrene havde været opdateret. Derfor er det også betænkeligt, at følgende sætning er at finde i vejregelforslaget for "Toplanskryds" [Vejregelrådet, 2005]:

Det bemærkes at de nævnte målinger er af ældre dato, og at nyere målinger ikke har været til rådighed for en opdatering af kurven.

Dette er en bemærkning til en figur i vejregelforslaget, som angiver accelerationen for personbiler hidrørende fra køretøjets motor ved forskellige hastighedsniveauer. Værdierne ligger under de værdier, der af trafikanten opleves som ubehagelige. Figuren bruges i vejregelforslaget til at bestemme accelerationsværdien, som efterfølgende anvendes til at bestemme længderne af tilkørselsramperne. Dette er et eksempel på at en projekteringsparameter, som anvendes ved udformningen af nye vejanlæg, ikke er opdateret. Dette kan være et udtryk for konservatisme, idet ældre værdier som har vist sin berigtigelse, altid er lettere at genanvende, i stedet for at tilpasse værdierne til kravene fra samfundet og den teknologiske udvikling. Eller det kan være et udtryk for manglende fokus på dette område, hvilket dette projekt derfor forsøger at ændre.

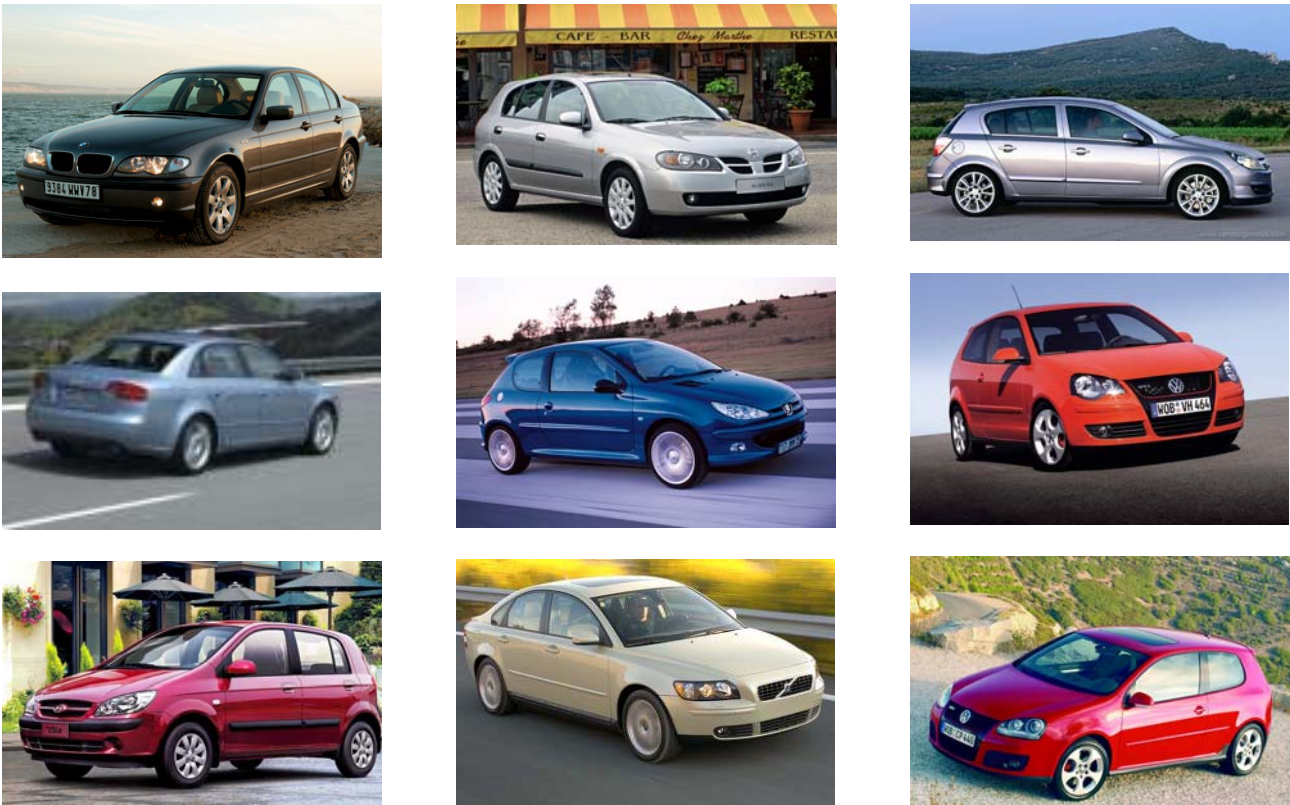
Betragtes parameteren som anvendes i vejregelforslaget, kan det konstateres, at de nuværende værdier første gang er anvendt i "Projekteringsregler for motorveje" fra

1970. Siden er der ikke foretaget ændringer af værdierne. Dette betyder, at værdierne er udledt fra målinger af datidens køretøjers accelerationsevne. Det formodes at målingerne er udført i perioden før udgivelsen af vejreglen, og et udpluk af datidens køretøjer fremgår af figur 1.1. Sammenholdes disse køretøjer med nutidens køretøjer jf. figur 1.2, er der en tydelig forskel. Køretøjerne er mere aerodynamiske og sammenlignes motorydelsen, er der en forskel i forhold til datidens køretøjer.

Det er vurderet, at dette blot er en af mange faktorer, som har ændret sig siden målingerne blev gennemført. Hastighedsbegrænsningen på motorvejene er ændret to gange siden indførelsen af parametrene, og endvidere er trafikken steget markant siden 1970'erne mm. Dette er faktorer, som ikke direkte har haft indflydelse på motorens accelerationsevne, men det har muligvis haft indflydelse på den accelerationslængde trafikanten finder nødvendig.



FIGUR 1-1 Et udpluk af køretøjer som formodes at være anvendt til målingerne. Køretøjerne er udpeget efter en forespørgsel hos Bilhistorie.dk. Bilerne er, startende øverst fra venstre: Austin 1800, Ford Cortina, Opel Kadett, Volvo Amazon, Peugeot 404, Vauxhall Viva, Renault 16, Simca 1501 samt en Fiat 124



FIGUR 1-2 Et udsnit af nutidens biler. Startende øverst fra venstre: BMW 320, Nissan Almera, Opel Astra, Audi A4, Peugeot 206, VW Polo, Hyundai Getz, Volvo S40 samt en VW Golf.

De førnævnte faktorer har bidraget til hypotesen, om at accelerationsværdierne og accelerationslængderne som anbefales i vejregelforslaget, ikke er opdateret, så de svarer til nutidens køretøjer og krav til et velafbalanceret vejnet. Dette har ført til følgende problemformulering.

1.1 Problemformulering

Ud fra førnævnte er følgende problemstilling formuleret:

Er accelerationsværdierne og accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregelforslag tidssvarende?

Ud fra denne formulering er det væsentligt at definere, hvad der menes med tidssvarende? Med tidssvarende menes det, at de værdier som anvendes i det danske vejregelforslag, skal svare til køretøjernes køretekniske formåen, samt de krav der stilles af samfundet til udformningen af infrastrukturen i Danmark. Dette vil i projektet blive belyst ud fra en teoretisk synsvinkel og en praktisk synsvinkel.

I den teoretiske del af projektet foretages der en undersøgelse af de parametre og metoder, som anvendes i vejregelsregi i landene omkring Danmark. Desuden belyses det ud fra undersøgelser af forskellige simuleringsprogrammer, samt andre projekter der beskæftiger sig med de to parametre.

Noget er teori andet er praksis. Derfor foretages der målinger af køretøjernes aktuelle accelerationsformåen. Ved målingerne er det ikke hensigten at belyse, hvad den teknologiske udvikling har bidraget med til køretøjernes faktiske accelerationsevne. Dette er ofte oplyst fra fabrikantens side mht. acceleration fra 0-100 km/t. I stedet er det

intentionen at belyse accelerationsadfærden, som trafikanterne udviser på tilkørselsramperne til det danske motorvejsnet. Accelerationsadfærden er et begreb der ikke kun er betinget af køretøjernes potentielle accelerationsevne, men også af andre fysiske og psykologiske faktorer der kan indvirke på den adfærd, som trafikanten udviser. Dette skal belyse, om den teoretisk forventede værdi svarer til den aktuelle situation.

Projektet omhandler projekteringsparametre og derfor er der kort i det efterfølgende beskrevet nogle parametre og begreber, som vil være gennemgående i hele projektet. Parametrene og det ene begreb er som følger:

- Accelerationsværdi
- Accelerationslængde
- Accelerationsadfærd

Accelerationsværdi er den hastighedsforøgelse, et køretøj kan bibringes pr. tidsenhed ved en given begyndelseshastighed.

Accelerationslængde er den vejlængde, der er nødvendig for at accelerere et givent køretøj fra en given hastighed til en højere hastighed [Vejregulrådet, 2004].

Accelerationsadfærd er et begreb, der betegner den adfærd, som trafikanten udviser, når denne foretager en acceleration fra en given hastighed til en anden. Det er i dette projekt valgt, at belyse adfærden ud fra opnåede gennemsnitshastigheder i forskellige snit på tilkørselsrampen.

Det er vurderet, at den teoretiske og praktiske tilgang til projektet vil kunne belyse, om accelerationsværdierne og accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregulforlag er tidssvarende.

1.2 Afgrænsning

Idet der ikke er ubegrænsede ressourcer til rådighed, er projektet afgrænset til kun at omhandle strækningen frem til konvergenssnittet, selv om det forventes at trafikanten stadig accelererer efter dette snit. Der er to grunde til dette. For det første, så skal køretøjet have opnået indfletningshastigheden, og dermed have foretaget accelerationen før konvergenssnittet, hvorefter flettemanøvren kan påbegyndes. For det andet, så angiver færdselsloven hvorledes flettemanøvre skal foretages. Dette medfører at trafikanten er opmærksom på, hvorledes denne skal forholde sig og agere, når vedkommende når frem til konvergenssnittet, hvilket medfører, at trafikanten ikke skal bekymre sig om indfletningsmanøvren under accelerationen.

Denne afgrænsning medfører, at der ikke ses på indfletningsadfærden og det dertilhørende tidsgab, som er nødvendigt for at kunne foretage indfletning på motorvejen. Det er dog vurderet, at dette kan have en indvirkning på accelerationsadfærden, selv om færdselsloven angiver, at accelerationen skal være foretaget inden flettemanøvren [Retsinfo.dk, 2006]. Der er afgrænset fra dette, idet det er vurderet for omfattende at foretage studier af flettemanøvren og den dertilhørende adfærd. Dette er anbefalet som et eventuelt opfølgende projekt til dette projekt.

Idet parametrene i det danske vejregulforlag er baseret på personbilernes accelerationssevne, beskæftiger projektet sig kun med accelerationsværdier og accelerationslængder for personbiler. Dette udelukker dog ikke, at parametre for andre køretøjstyper kan blive berørt perifert i de enkelte afsnit.

2 Accelerationsværdier og accelerationslængder i vejregler og andre undersøgelser

For at belyse om parametrene er tidssvarende, er det vurderet væsentligt at sammenligne værdierne med andre vejregler, samt nyeste undersøgelser inden for dette fagområde. Dette kan afgøre om den manglende opdatering af værdierne, er et udtryk for en form for konservatisme, eller om værdierne er et udtryk for køretøjernes faktiske accelerationsevne? Eksisterer der nyere værdier i udenlandske vejregler eller andre undersøgelser, må dette være et tegn på det første.

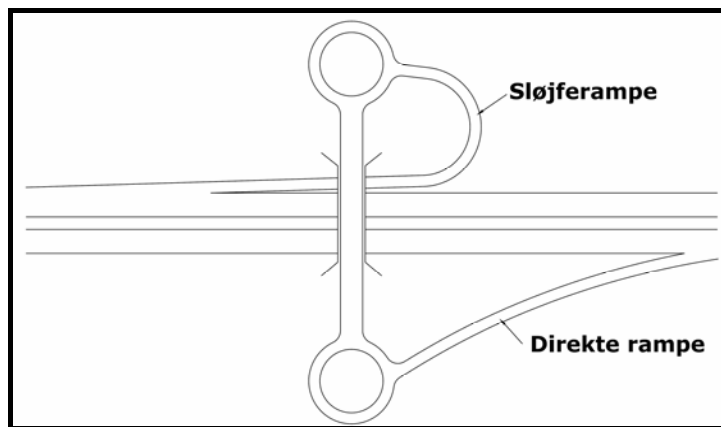
2.1 Metode

Første del af dette projekt er baseret på litteraturstudier af udenlandske vejregler samt undersøgelser, som omhandler køretøjernes accelerationsevne og accelerationslængde. Gennemgangen af dette materiale, fører til en sammenligning med parametrene fra de danske vejregler. Dette gøres for at belyse, om der i de udenlandske vejregler findes parametre og beregningsmetoder som er sammenlignelige, men mere tidssvarende end parametrene og beregningsmetoderne, som anvendes i de danske vejregler. Der foretages en sammenligning med parametrene i svenske, norske, engelske, tyske samt amerikanske vejregler. Reglerne fra disse lande er valgt, idet det er lande, som har veludbyggede vejregler og endvidere er det lande, som Danmark normalt sammenlignes med på det trafikale område. Det har endvidere været intentionen at sammenligne det danske vejregelforslag med de hollandske vejregler, men trods utallige forsøg er det ikke lykkedes, at fremskaffe de hollandske vejregler tidligt nok, til at de kan indgå i sammenligningen.

2.2 Danske vejregler

I Danmark er det Vejdirektoratet, der står for ajourføring og udarbejdelsen af vejreglerne, som indeholder normer, retningslinier, vejledninger og kommentarer. Regler for projektering af tilkørselsramper findes i vejregelforslaget for "Toplanskryds" fra 2005. Denne består udelukkende af vejledninger, som er baseret på ajourført erfaringsmateriale, hvis anvendelse normalt vil være hensigtsmæssigt [Vejregelrådet, 2005].

I vejregelforslaget arbejdes der med to principielle udformninger af tilkørselsramperne. En direkte rampe og en sløjferampe (indirekte rampe) jf. figur 2-1. Den direkte rampe er udformet, således at trafikanten drejer ind på rampen i den retning, som trafikanten ønsker at fortsætte ad den gennemgående vej. På den direkte rampe kan køretøjet foretage fuld acceleration fra tidspunktet, hvor køretøjet drejer ind på tilkørselsrampen, dog under hensyntagen til rampens tracé. På sløjferampen foretager trafikanten en vinkeldrejning på 180°, før trafikanten kører i den retning, vedkommende ønsker at fortsætte ad den gennemgående vej. På sløjferampen er det ofte først muligt, at påbegynde den fulde acceleration når kurven er passeret.



FIGUR 2-1 Principskitse af sløjferampe og direkte tilslutningsrampe.

Anvendelsen af de to typer tilkørselsramper afhænger af rammebetingelserne. De tilstødende arealer kan resultere i geometriske begrænsninger, så det ikke er muligt at anlægge en direkte tilkørselsrampe, hvilket resulterer i anvendelsen af en sløjferampe.

I de efterfølgende afsnit redegøres der for, hvorledes accelerationsværdier og accelerationslængder anvendes i vejregelforslaget for toplanskryds.

2.2.1 Accelerationsværdier

I vejregelforslaget for toplanskryds er det personbilernes accelerationsevne, som er dimensionsgivende for tilkørselsrampenes længder. Personbilernes accelerationsevne betegnes ved accelerationsværdien, som beregnes ud fra to elementer. Dels den acceleration som køretøjets motor er i stand til at bringe køretøjet på vandretvej, samt et tillæg fra tyngdekraften. Accelerationsværdierne beregnes ud fra formel 2-1: [Vejreglerådet, 2005]

$$g_a = g_a(\text{motor}) + G \frac{s}{1000}$$

2-1

Hvor:

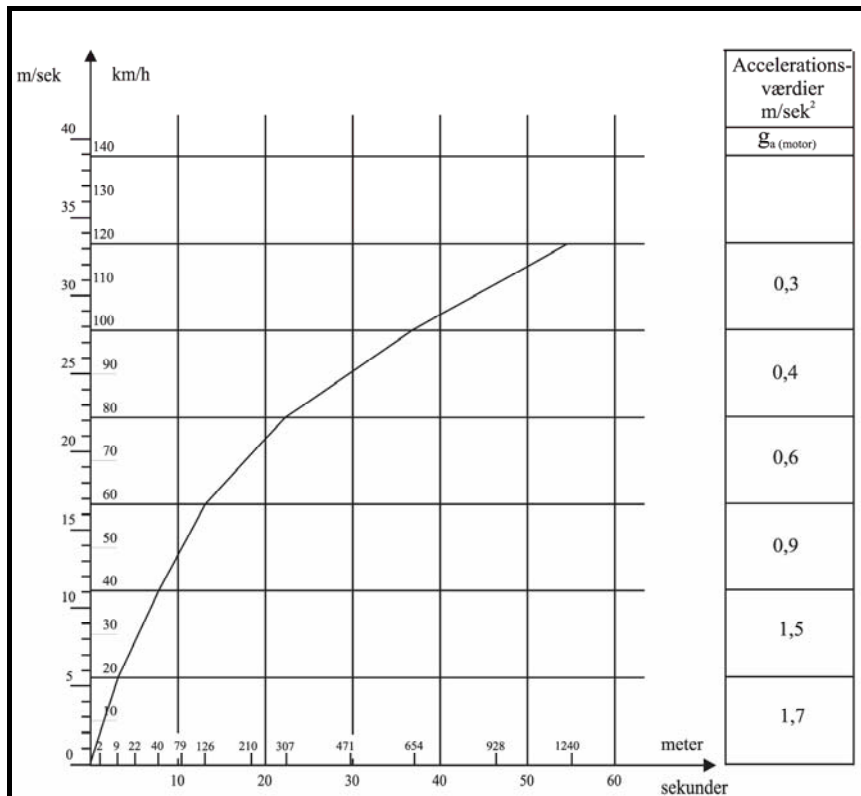
g_a er accelerationsevnen for køretøjet [m/s^2]

$g_a(\text{motor})$ er motorens accelerationsbidrag [m/s^2]

G er tyngdeaccelerationen ($9,81 \text{ m/s}^2$)

s er vejens længdegradient i ‰ regnet negativ for stigning og positiv for fald

Bidraget fra motorens acceleration bestemmes ud fra figur 2-2, som er udarbejdet på baggrund af målinger af personbilens accelerationsevne. Værdierne er bestemt, så disse ligger under accelerationsværdier, som af trafikanten føles ubehagelige [Vejdirektoratet, 1970]. Det bemærkes af figuren, at accelerationen beregnes konstant inden for forskellige hastighedsintervaller. Dette er tilnærmet, og det fremgår da også af vejregelforslaget, at målingerne er af ældre dato [Vejreglerådet, 2005]. Sammenholdes værdierne fra figur 2-2 med værdier fra Projekteringsregler for motorveje fra 1970, er der overensstemmelse mellem værdierne [Vejdirektoratet, 1970]. Dette betyder, at køretøjernes accelerationsevne på nuværende tidspunkt beregnes ud fra værdier, som minimum er 36 år gamle.



FIGUR 2-2 Dimensionsgivende accelerationsværdier for personbiler på vandret vej [Vejreglerrådet, 2005].

2.2.2 Accelerationslængde

I vejregelforslaget for toplanskryds anvendes køretøjets accelerationsevne bestemt ud fra formel 2-1 under hensyntagen til hastigheden, til at bestemme accelerationslængden. Accelerationslængden er en summering af længder, indenfor hvilket accelerationen er konstant jf. figur 2-2. Dellængderne beregnes ud fra formel 2-2 eller formel 2-3: [Vejreglerrådet, 2005]

$$L_a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g_a}$$

2-2

Eller

$$L_a = \frac{V_2^2 - V_1^2}{25,92 \cdot g_a}$$

2-3

Hvor:

- L_a er accelerationslængden [m]
- g_a er accelerationsværdien for køretøjet inden for hastighedsintervallet hvor accelerationen er konstant [m/s^2]
- v_2 er den opnåede hastighed [m/s]
- v_1 er begyndeshastigheden [m/s]
- V_2 er den opnåede hastighed [km/t]
- V_1 er begyndeshastigheden [km/t]

Anvendes formel 2-1 sammen med formel 2-2 eller formel 2-3, kan accelerationslængden for forskellige hastighedsintervaller beregnes, hvilket fremgår af tabel 2-1 og tabel 2-2 for henholdsvis faldende og stigende længdeprofiler. Ønskes den samlede accelerationslængde fra begyndeshastigheden til indfletningshastigheden, summeres der lodret i de respektive kolonner. Endvidere anbefales det i vejregelforslaget, at

en tilkørselsrampe som opnår en længde på 750 m eller mere, bør projekteres som en forbindelsesrampe med 2 spor.

TABEL 2-1 Accelerationslængder for hastighedsintervaller på 10 km/t ved faldende længdeprofil [Vejreglerådet, 2005].

ΔV km/t	Fald i ‰										
	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
0-10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10-20	5	5	5	6	6	6	6	6	6	7	7
20-30	10	10	10	10	11	11	11	12	12	13	13
30-40	14	14	14	15	15	15	16	16	17	17	18
40-50	25	26	27	28	29	30	32	33	35	37	39
50-60	31	32	33	34	35	37	39	41	43	45	47
60-70	46	48	51	53	56	59	63	67	72	77	84
70-80	53	56	58	61	65	69	73	78	83	89	97
80-90	74	78	83	88	95	102	110	120	132	146	164
90-100	82	87	96	99	106	114	123	134	147	163	183

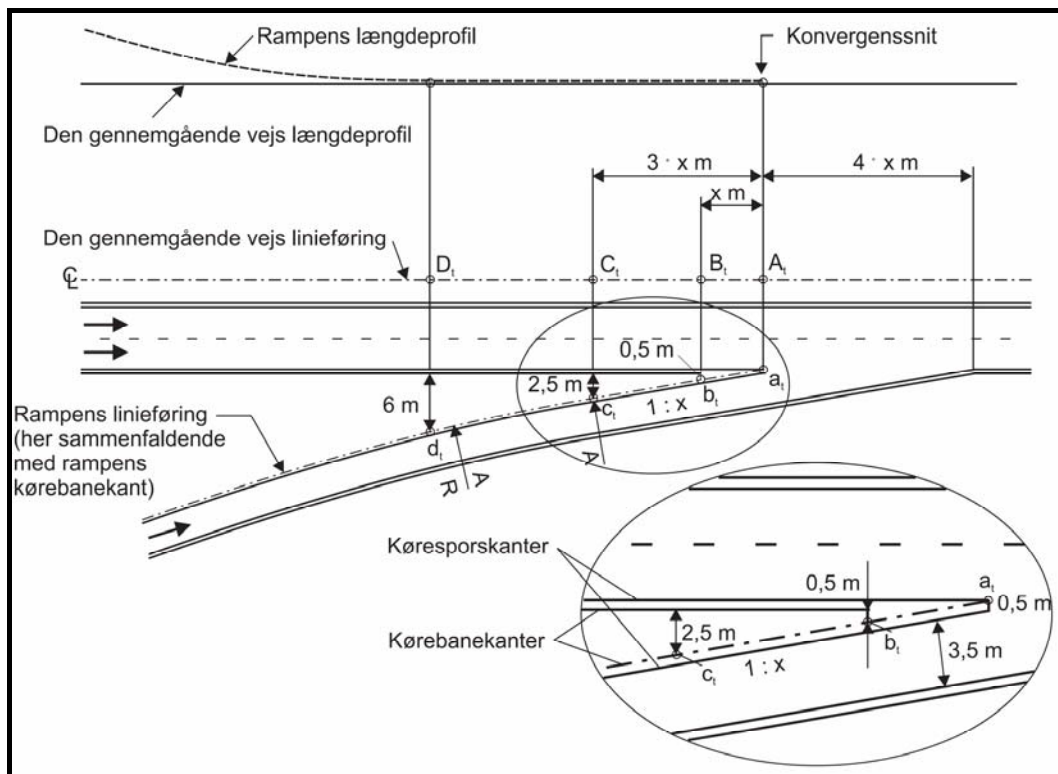
TABEL 2-2 Accelerationslængder for hastighedsintervaller på 10 km/t ved stigende længdeprofil [Vejreglerådet, 2005].

ΔV km/t	Stigning i ‰										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0-10	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
10-20	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10
20-30	13	13	14	14	15	15	16	17	17	18	19
30-40	18	19	19	20	21	22	22	23	24	26	27
40-50	39	41	43	46	49	53	57	62	68	76	85
50-60	47	50	53	56	60	65	70	76	84	93	104
60-70	84	91	100	111	124	141	164	195	242	316	458
70-80	97	105	115	128	143	163	189	226	279	365	529
80-90	164	187	217	259	322	424	621	1158	8630		
90-100	183	209	243	290	360	474	694	1294	9645		

I vejregelforslaget anbefales det, at køretøjet opnår en indfletningshastighed, som svarer til 0,8 gange den ønskede hastighed på den gennemgående vej. Værdien på 0,8 er baseret på, at gennemsnitshastigheden på en amerikansk vej svarer til 80 % af dimensioneringshastigheden på 120 km/t. Tilbage i 1969 er dette verificeret via danske målinger, og har siden været anvendt som kriterium for bestemmelse af indfletningshastigheden [Vejdirektoratet, 1970]. Dette betyder, at køretøjer på motorveje med en hastighedsbegrænsning på 110 km/t skal opnå en indfletningshastighed på 88 km/t, hvilket i vejregelforslaget er afrundet til 90 km/t.

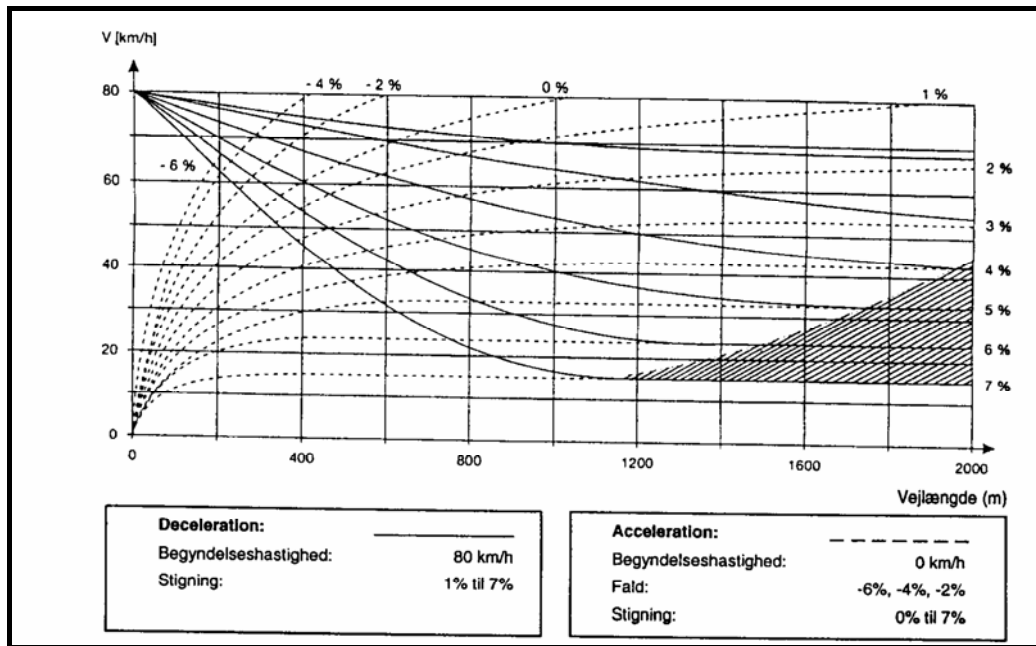
Værdien på 0,8 gange ønsket hastighed burde betyde at tilkørselsramper, hvor hastighedsbegrænsningen er 130 km/t på den gennemgående vej, projekteres så køretøjerne kan opnå en indfletningshastighed på 104 km/t. Jeg har via formanden for arbejdsgruppen for vejregelforslaget for toplanskryds erfaret at tilkørselsramperne til motorveje, hvor hastighedsbegrænsningen er 130 km/t, projekteres så det er muligt for køretøjerne at opnå en indfletningshastighed på 90 km/t. Dette er baseret på et skøn, der beror på at gennemsnitshastigheden i højre kørespor på motorveje, hvor hastighedsbegrænsningen er henholdsvis 110 km/t og 130 km/t, ikke varierer markant. Dette skyldes andelen af tunge køretøjer i højre kørespor. Endvidere medfører en højere indfletningshastighed samtidigt en længere kilestrækning, og det er vurderet, at dette kan medføre u hensigtsmæssige overhalinger på kilestrækningen, hvilket ikke er acceptabelt.

Efter vejregelforslaget skal indfletningshastigheden være opnået inden konvergensnittet, der er snittet hvor rampens venstre kørebane kant skærer den gennemgående vejs højre køresporskant, hvilket også fremgår af figur 2-3. [Vejregelrådet, 2005]



FIGUR 2-3 Tilkørselsrampens udformning, hvoraf konvergensnittet fremgår [Vejregelrådet, 2005].

I vejregelforslaget er accelerationsværdierne og accelerationslængden baseret på personbilers accelerationsevne. Det er i vejregelforslaget ikke fundet rimeligt, at tilkørselsrampens længde baseres på tunge køretøjers accelerationslængde, hvilket i situationer vil give urimeligt lange tilkørselsramper. Ved brug af figur 2-4 er det dog muligt at afgøre, hvilken indfletningshastighed tunge køretøjer kan opnå under hensyntagen til tilkørselsrampens længde og længdefald. Dette kan i projekteringsfasen sammenholdes med den forventede trafikbelastning på den pågældende tilkørselsrampe, for at afgøre om udformningen er acceptabel mht. tunge køretøjers acceleration.



FIGUR 2-4 Accelerations- og decelerationslængder for tunge køretøjer afhængig af gradienten [Vejreglerådet, 1999].

2.3 Svenske vejregler

I Sverige er det gældende regelsæt mht. projektering af tilkørselsramper fra 2004, hvor der blev udgivet et nyt hjælpemiddel/regelsæt til udformning af gader og veje, Våger & gators udformning (VGU), som er udarbejdet i samarbejde med Vågverket og Svenska Kommunförbundet. Regelsættet er bindende for den statslige vejinstitution Vågverket, mens det for de kommunale vejmyndigheder kun er et rådgivende hjælpemiddel. VGU er udarbejdet i sammenhæng med et nyt planlægningsværktøj, Trafik för en Attraktiv Stad (TRAST), for at opnå en sammenhæng mellem de overordnede planlægningsprincipper og selve vejudformningen.

I de efterfølgende afsnit redegøres for, hvorledes køretøjernes accelerationsevne samt udformningen af tilkørselsramperne er behandlet i VGU.

2.3.1 Accelerationsværdier

I de svenske vejregler har køretøjernes vægt, hastighed, effektive trækraft, den aerodynamiske udformning, friktionen med vejen samt vejens længdefald indvirkning på beregningen af køretøjernes accelerationsværdier ved forskellige hastigheder. Disse beregnes ud fra formel 2-4 [Vågverket A, 2004]:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{p}{v} - \frac{C_l \cdot A \cdot v^2}{m} - C_r - g \cdot i$$

2-4

Hvor:

dv/dt	er accelerationen [m/s^2]
v	er køretøjets punkthastighed [m/s]
t	er tiden [s]
p	er køretøjets effektive trækraft [W/kg]
C_l	er luftmodstandskoefficienten [kg/m^3]
A	er frontarealet [m^2]
M	er køretøjets vægt [kg]
C_r	er rullefriktionen [N/kg]

g er tyngdeaccelerationen [m/s^2]
 i er vejens hældning [m/m]

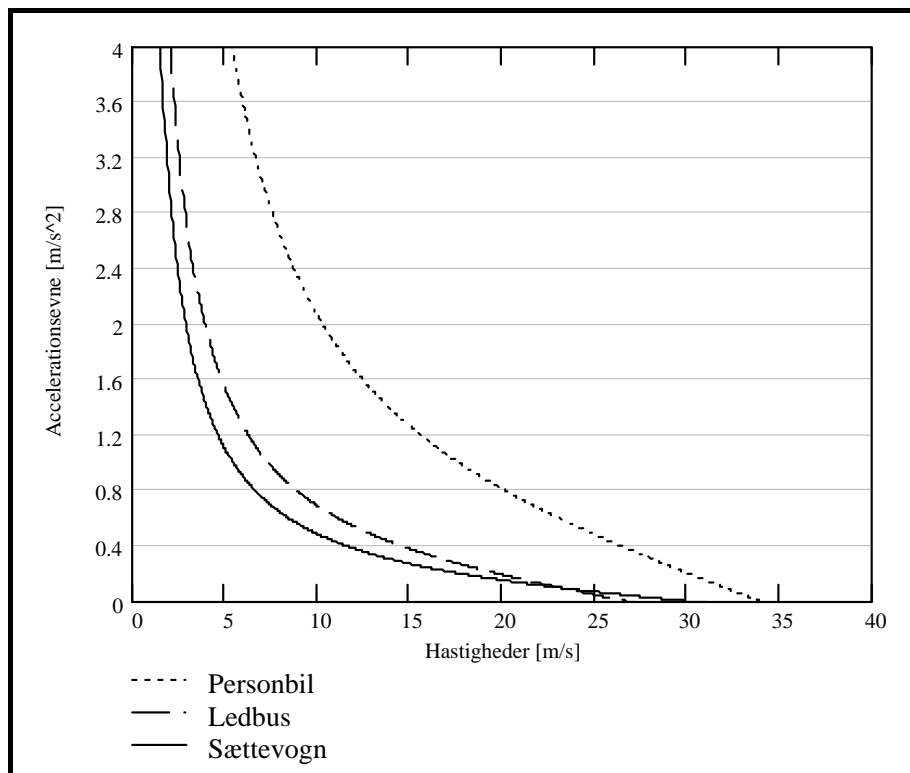
I de svenske vejregler anvendes grundværdierne, vist i tabel 2-3, til beregning af de mest almindelige køretøjers accelerationsværdier. Det er henholdsvis en personbil (P), en ledbus (LB) og en lastbil med påhængsvogn eller sættevogn (Lps). Bortset fra trækraften for Lps, der er opdateret efter målinger i 1994, så stammer værdierne fra målinger udført på vognparken i begyndelsen af 1970'erne. Ved anvendelse af grundværdierne fra tabel 2-3 er det muligt at fremstille tre grafer, som viser accelerationsværdierne for køretøjer på lige vej afhængigt af køretøjernes hastigheder. Dette fremgår af figur 2-5 og bruges til en senere sammenligning med værdierne i de danske vejregler. [Vägverket A, 2004]

Køretøjernes accelerationsevne anvendes i VGU til at dimensionere accelerationsstrækninger på tilkørselsramperne, samt til at bestemme hastighedsprofiler for forskellige vejafsnit.

TABEL 2-3 Grundværdier til beregning af køretøjers accelerationsevne afhængig af køretøjstype, [Vägverket A, 2004].

Grundværdier	Køretøjstyper		
	P	Bl	Lps
Luftmodstandskoefficient C_l [kg/m^3]	0,275	0,500	0,500
Rullefriktion C_r [N/kg]	0,11	0,11	0,11
Frontareal [m^2]	1,73	7,5	6,5
Trækraft [W/kg]*	22,1	8,2	6,0
Vægt [ton]	1,0	13,4	31,5

*1hk = 746 W



FIGUR 2-5 Accelerationsværdier på lige vej i forhold til hastigheden, ved brug af grundværdierne fra tabel 2.3.

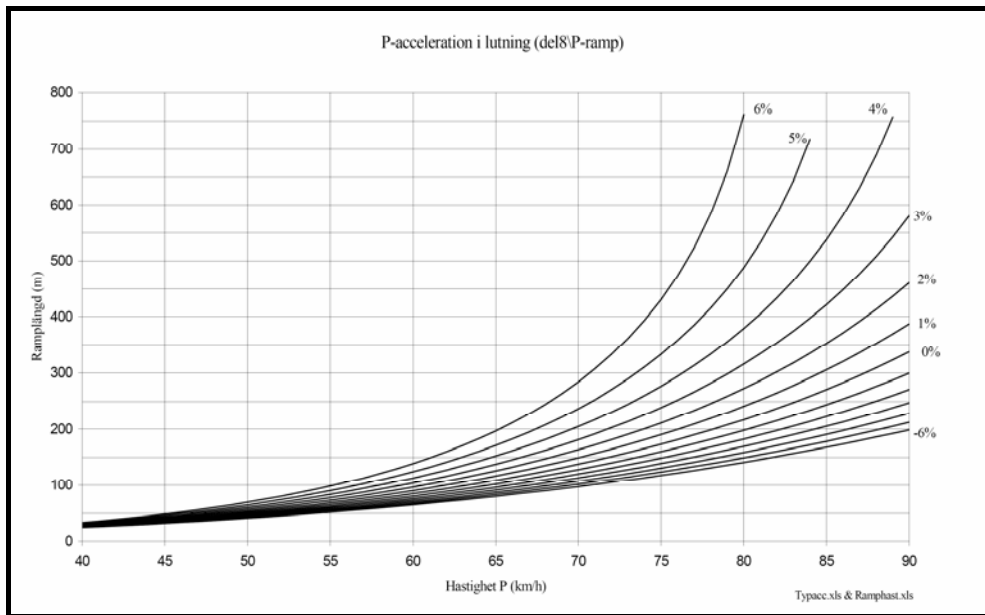
2.3.2 Accelerationslængder

I de svenske vejregler bestemmes accelerationslængden for forskellige køretøjstyper ud fra figur- samt tabelopslag. Tabel 2-4 viser rampelængderne for forskellige køretøjstyper, når begyndeshastigheden er i nærheden af 0 km/t. Er begyndeshastigheden ikke i nærheden af 0 km/t, anvendes figur 2-6, figur 2-7 og figur 2-8 til at bestemme rampelængden for de respektive køretøjstyper. Disse bruges endvidere til at bestemme hastighedsprofilet for rampen, for at afgøre om rampens tracé giver køretøjet mulighed for at opnå den nødvendige hastighed. Tilkørselsrampens længde måles fra sekundærvejens midte til "anpassingsstækningens" begyndelse, hvilket fremgår af figur 2-9. [Vägverket B, 2004]

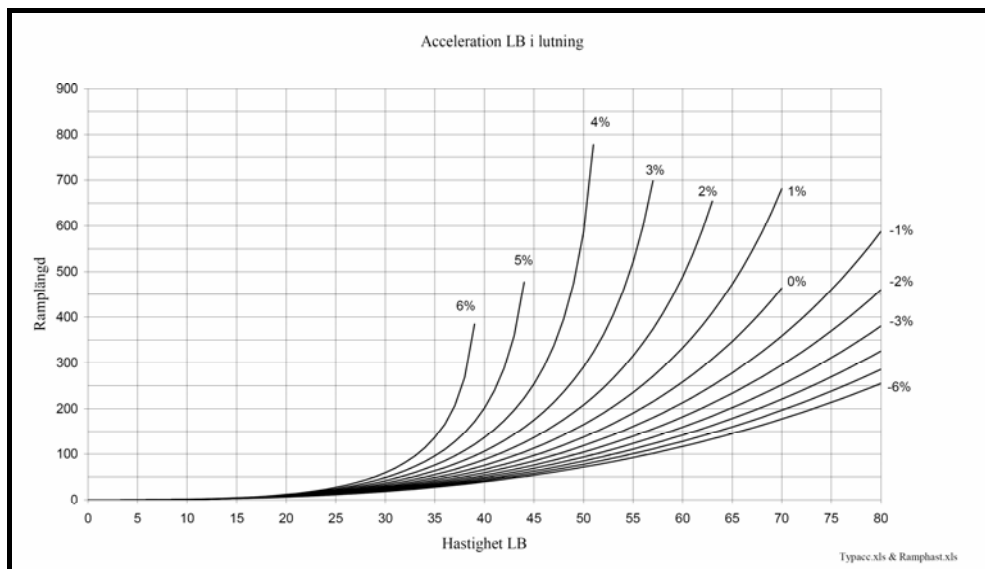
I de svenske vejregler inddeles tilkørselsramperne i to elementer. En påfart, som består af tre strækninger, samt en rampedel. Dette fremgår af figur 2-9. Ifølge de svenske vejregler skal tilkørselsramperne udformes, så en personbil kan nå at accelerere op til en hastighed 20 km/t under referencehastigheden (VR) inden anpassingsstrækningens begyndelse, hvilket svarer til konvergenssnittet i de danske vejregler. Referencehastigheden svarer i de svenske regler til V_0 i de danske vejregler. I reglerne frarådes det, at udforme tilkørselsramper, hvor tunge køretøjer ikke kan opnå indfletningshastigheden inden anpassingsstrækningen ophører. Påfartens delstrækninger skal endvidere have minimumslængder, som vist i tabel 2-5. [Vägverket B, 2004]

TABEL 2-4 Rampelængder for forskellige køretøjstyper ved forskellige indfletningshastigheder og hældninger. Længderne svarer til en udgangshastighed nær 0 km/t [Vägverket B, 2004].

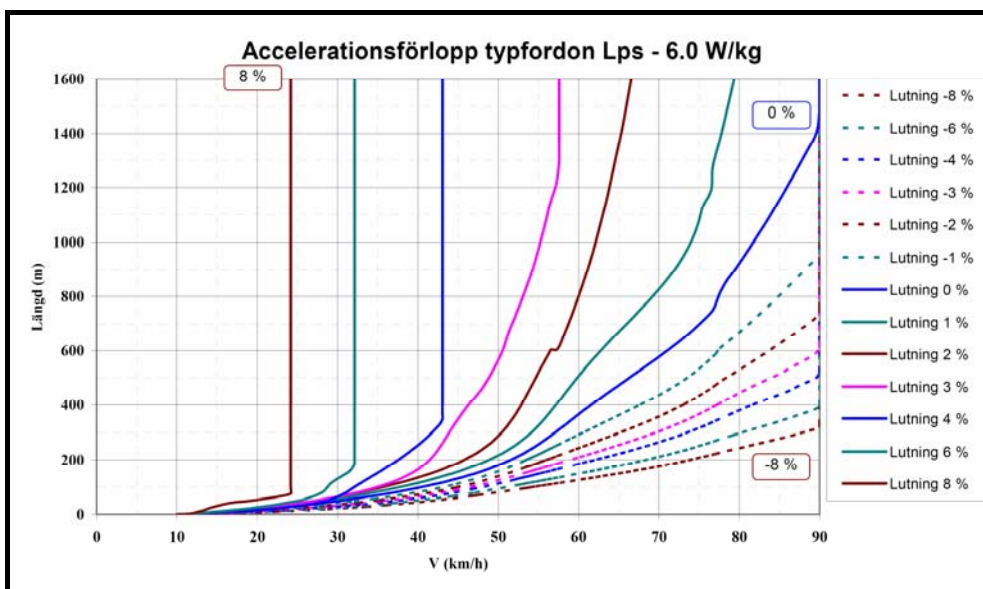
Type	Hastighed		Hældning [%]												
	VR	Vut	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
P	70	50	41	42	43	44	46	47	49	52	54	57	60	65	69
LB	70	50	72	78	85	94	105	119	138	165	208	291	586		
Lps	70	50	90	100	110	120	140	160	180	220	280	570			
P	90	70	97	102	107	113	120	128	138	149	164	182	205	237	284
LB	90	70	177	196	220	252	295	359	464	681					
Lps	90	70	210	230	260	300	370	440	570	830					
P	110	90	199	212	228	247	271	300	337	388	461	581	839		



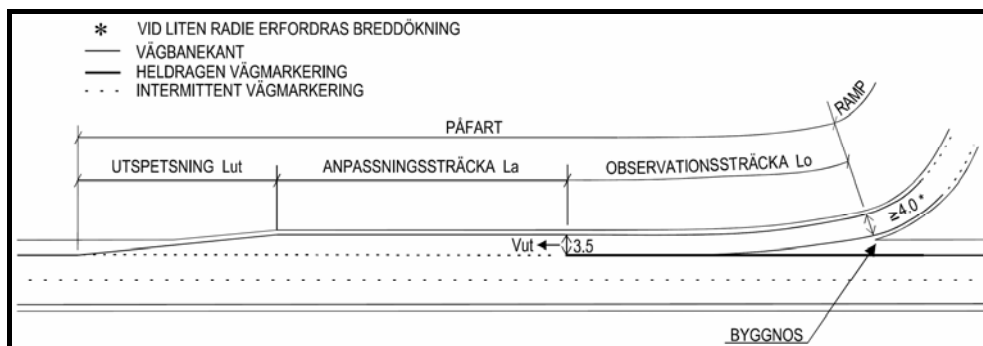
FIGUR 2-6 Hastighedsprofil for personbil (køretøjstype P) ved acceleration på vej med forskellige hældninger, [Vägverket B, 2004].



FIGUR 2-7 Hastighedsprofil for lastbil eller bus (køretøjstype LB) ved acceleration på vej med forskellige hældninger, [Vägverket B, 2004].



FIGUR 2-8 Hastighedsprofil for lastbil med sættevogn (køretøjstype Lps) ved acceleration på vej med forskellige hældninger, [Vägverket B, 2004].



FIGUR 2-9 Tilkørselsrampens inddeling, [Vägverket B, 2004].

TABEL 2-5 Minimumslængder for påfartens delstrækninger [Vägverket B, 2004]

VR [km/t]	Observationssträcka [m]	Anpassningssträcka [m]	Utspetsningssträcka [m]
110	100	150	100
90	100	125	80
70	100	100	60

2.3.3 Sammenligning med det danske vejregelforslag

Sammenlignes accelerationsværdierne i de svenske vejregler med værdierne fra det danske vejregelforslag, så er der en markant forskel i udregningen af accelerationsværdierne. I de svenske vejregler udregnes accelerationsværdierne på baggrund af flere indgangsparametre, hvilket muliggør udregning af accelerationsværdier for flere forskellige køretøjstyper. Endvidere er den svenske beregningsmodel mere fleksibel, idet den kan anvendes til at beregne accelerationsværdier for den tidssvarende vognpark. Denne mulighed foreligger ikke i den danske beregningsmodel. Køretøjets accelerationsværdi hidrørende fra motoren er ved forskellige hastigheder givet på forhånd, og det er ikke muligt at variere indgangsparametrene.

Den svenske beregningsmodel resulterer i en konstant aftagende acceleration som funktion af hastigheden jf. figur 2-5. Hvorimod den danske model resulterer i konstante accelerationsværdier, som aftager ved stigende hastighedsintervaller med spring på

20 km/t. Ud fra dette er det vurderet, at den svenske model giver et mere realistisk billede af køretøjernes faktiske accelerationsevne.

For at sammenligne accelerationsværdierne er der lavet en udregning af de svenske accelerationsværdier ved hastigheder, der kan sammenlignes med de danske accelerationsværdier, hvilket fremgår af tabel 2-6. Tabellen viser, at der i de svenske vejregler regnes med højere accelerationsværdier ved alle hastigheder op til 100 km/t. Det er heraf konkluderet, at den danske beregningsmodel resulterer i væsentlig lavere accelerationsværdier set i forhold til den svenske beregningsmodel.

TABEL 2-6 Sammenligning af accelerationsværdier ved bestemte hastigheder efter svenske vejregler og det danske vejregelforslag.

Hastighed [km/t]	Accelerationsværdier [m/s^2]					
	20	40	60	80	100	120
Svenske	3,9	1,8	1,1	0,7	0,3	-
Danske	1,7	1,5	0,9	0,6	0,4	0,3

Sammenlignes de svenske vejregler med det danske vejregelforslag mht. accelerationslængder, er der stort set samme krav til, hvilken hastighed køretøjerne skal opnå inden indfletning. Efter de svenske regler skal køretøjerne opnå en hastighed, som ligger 20 km/t under V_0 , hvilket svarer til samme indfletningshastighed som i det danske vejregelforslag. Dette betyder, at det er muligt at sammenligne accelerationslængder for personbiler, der accelererer fra 0-90 km/t ved forskellige gradienter. Dette fremgår af tabel 2-7.

Tabellen viser, at stort set alle accelerationslængderne er kortere i de svenske vejregler set i forhold til accelerationslængderne i det danske vejregelforslag. Ved anvendelse af de svenske vejregler, kan der opnås en reducere af accelerationslængderne på op til 249 m afhængig af gradienten.

TABEL 2-7 Sammenligning af accelerationslængderne i svenske vejregler og det danske vejregelforslag ved acceleration fra 0-90 km/t ved forskellige gradienter (positiv betyder stigende gradient). Forskellen er i forhold til værdierne fra det danske vejregelforslag.

Gradient [%o]	Accelerationslængder [m]										
	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Svenske	212	228	247	271	300	337	388	461	581	839	-
Danske	259	283	314	352	401	470	571	745	830	830	961
Forskel	+47	+55	+67	+81	+101	+133	+183	+284	+249	-9	

Ud fra den førnævnte sammenligning er det vurderet, at beregningsmodellen fra de svenske vejregler med fordel kunne tilpasses danske forhold, og overføres til det danske vejregelforslag. For at muliggøre dette, kræver det en tilpasning af indgangsparametrene, så disse matcher den danske vognpark og vejstandard. Det er vurderet, at data for dette relativt enkelt kan fremskaffes, hvilket herefter muliggør en implementering af beregningsmodellen.

2.4 Norske vejregler

De norske vejregler udgives af Vegdirektoratet, som håndbøger i Statens vegvesens håndbogserie. Håndbogsserien udgives på 2 niveauer. En orange serie som omfatter forskrifter, normaler og retningslinier, som er godkendt af den overordnede myndighed eller med bemyndigelse af Vegdirektoratet. Det andet niveau er en blå serie, som

omfatter vejledninger, lærebøger og vejdata, som er godkendt af en afdeling med fuldmagt af Vegdirektoratet. [Statens vegvesen A, 2005]

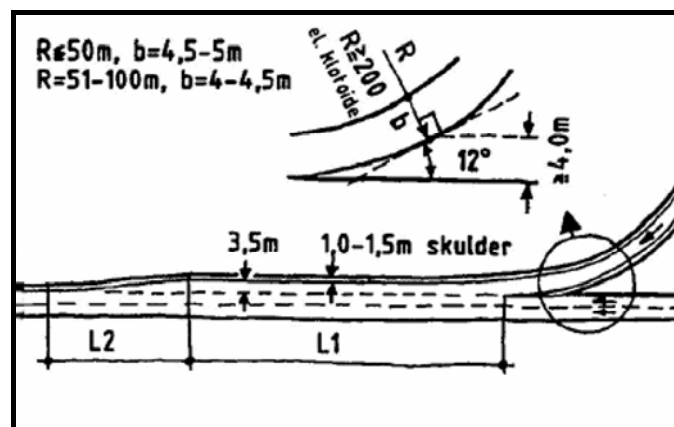
I de norske udgaver af vejreglerne findes der vejledninger om rampeprojektering og accelerationslængder i vejledningen: "Geometrisk udformning av veg- og gatekryss håndbok 263". Denne anvendes sammen med "Vegnormalen veg- og gateutforming håndbok nr. 17", ved planlægning og projektering af eksisterende og nye vejanlæg. Den gældende udgave er fra 1993, men der arbejdes på nuværende tidspunkt med en revideret udgave, der skal erstatte udgaven fra 1993. Den nye udgave har været til høring sammen med vejledningen om geometrisk udformning af vej og gadekryds, og mangler kun den endelige godkendelse [Vegvesen.no, 2006]. På baggrund af dette, er vejledningerne fra de nye udgaver, brugt i den efterfølgende redegørelse for accelerationsværdier og accelerationslængder.

2.4.1 Accelerationsværdier

Der er på nuværende tidspunkt ikke fundet noget materiale, som tilkendegiver hvorledes accelerationen beregnes i de norske vejregler.

2.4.2 Accelerationslængder

Efter de norske vejregler projekteres tilkørselsramperne med et accelerationsfelt som også indeholder flettestrækningen. Princippet for tilkørselsrampens og accelerationsfeltets udformning fremgår af figur 2-10 og tabel 2-8, hvor hastighedsgrænserne i tabel 2-8 er hastighedsgrænsen på den overordnede vej. Accelerationsfeltets længde øges med 30 %, hvis den overordnede vej stiger med 4 % eller mere. Tilsvarende reduceres accelerationslængden med 30 %, hvis den overordnede vej falder med 4 % eller mere. Rampen skal endvidere udformes, så køretøjet har opnået en hastighed på minimum 50 km/t inden accelerationsfeltets begyndelse. Er denne hastighed ikke opnået, bør accelerationsfeltet forlænges.



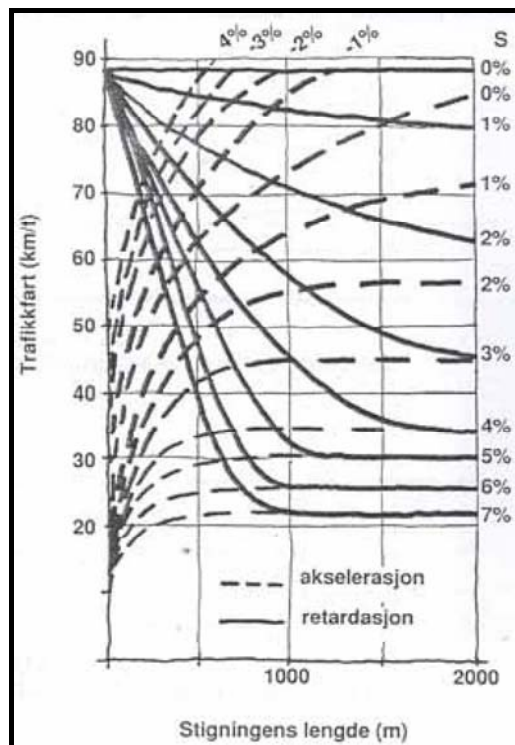
FIGUR 2-10 Standard udformning af parallel ført accelerationsfelt. Accelerationsfeltet er angivet ved L1 [Statens vegvesen B, 2005].

TABEL 2-8 Accelerationsfeltets længde ved forskellige hastighedsgrænser for ruderanlæg [Statens vegvesen B, 2005].

	Hastighedsgrænse			
	60 km/t	80 km/t	90 km/t	100 km/t
L1 [m]	40	60	70	90
L2 [m]	20	30	40	60

Umiddelbart er der i de norske vejregler ikke angivet accelerationslængder for forskellige køretøjstyper. Dog indeholder håndbok 265 en figur, som angiver tunge køretø-

jers acceleration og decelerationslængde ved forskellige gradienter jf. figur 2-11. Figuren anvendes i reglerne til at afgøre, om der er behov for anlæggelse af krybespor.



FIGUR 2-11 Accelerations og decelerationslængder for tunge køretøjer ved forskellige gradienter [Statens vegvesen C, 2005].

2.4.3 Sammenligning med det danske vejregelforslag

Ud fra forudsætninger og de oplysninger der er tilvejebragt, er det ikke muligt at foretage en sammenligning mht. accelerationsværdier og accelerationslængder. Dog kan figur 2-11 sammenlignes med figur 2-4. Heraf fremgår det, at der i de norske vejregler regnes med en lavere accelerationsevne for tunge køretøjer, når vejen har en stigende gradient.

Ud fra dette grundlag er det konkluderet, at de danske vejregler er mere fyldestgørende. Det vurderes derfor ikke hensigtsmæssigt, at overføre værdier og beregningsmetoder fra de norske vejregler til det danske vejregelforslag.

2.5 Engelske vejregler

I England består vejreglerne af en meget omfattende manual "Design manual for Roads and Bridges", som i sin nuværende form har eksisteret siden 1992. Manualen er gældende for både England, Wales, Skotland og Nordirland, dog kan enkelte områder i manualen være underlagt nationale restriktioner, hvilket fremgår af de respektive afsnit i manualen. Udarbejdelsen af vejreglerne bistås af en overordnet organisation bestående af følgende organisationer:

- The Highways Agency
- The Scottish Office Development Department
- The Welsh Office Highways Directorate
- The Department of the Environment for Northern Ireland: Roads Service

Manualen understøtter politiske, administrative og tekniske procedurer, der skal sikre at de overordnede organisationer arbejder effektivt og virksomt. Hertil består manua-

len af flere forskellige dokumenter, som kan inddeles i tre kategorier. "Standards" der er tekniske krav, som skal overholdes af den overordnede organisation, som bestyrer motorvejene. "Advice Notes" der er råd og vejledninger baseret på praksis og erfaringer inden for det pågældende område. "Combined Documents" der er en samling af tekniske krav, råd og vejledninger. [The Highways Agency, 1997]

I manualen er projektering og udformning af tilkørselsramper baseret på standarderne "Highway Link Design" og "Layout of Grade Separated Junctions", som er standarder fra henholdsvis 2002 og 2006. Disse er anvendt i den efterfølgende beskrivelse af accelerationsværdier og accelerationslængder.

2.5.1 Accelerationsværdier

I de engelske vejregler anvendes der ikke accelerationsværdier for køretøjer til bestemmelse af tilkørselsrampenes længder, hvilket derfor ikke gør det muligt at foretage en sammenligning med værdierne i det danske vejregelforslag.

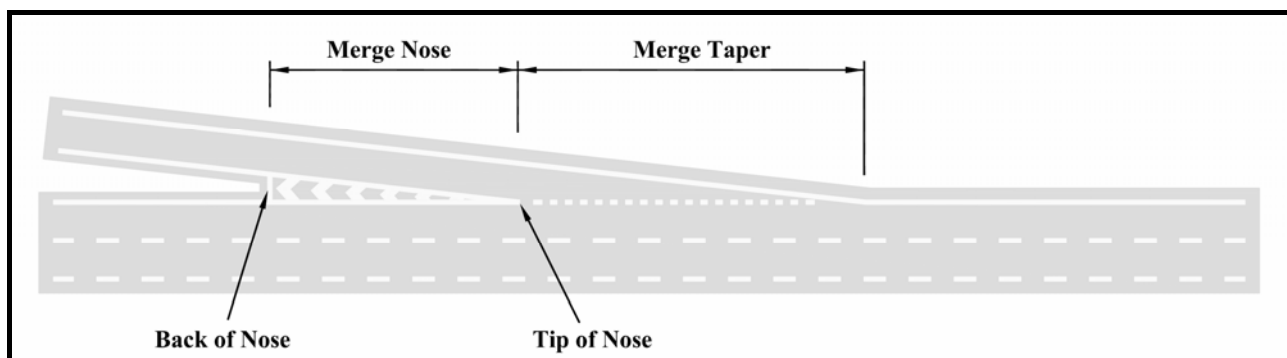
2.5.2 Accelerationslængder

Efter de engelske færdselsregler har trafikanten på tilkørselsrampen vigepligt for trafikken på den gennemgående vej. Dette er en væsentlig afvigelse fra danske færdselsregler mht. vognbaneskift. Dette medfører, at der ikke kan stilles samme krav til, hvilken hastighed køretøjet skal have opnået inden indfletning. I England er hastighedsbegrænsningen på motorvejene 112 km/t og motorvejene projekteres med en dimensioneringshastighed på 120 km/t. [The Highways Agency, 2002]

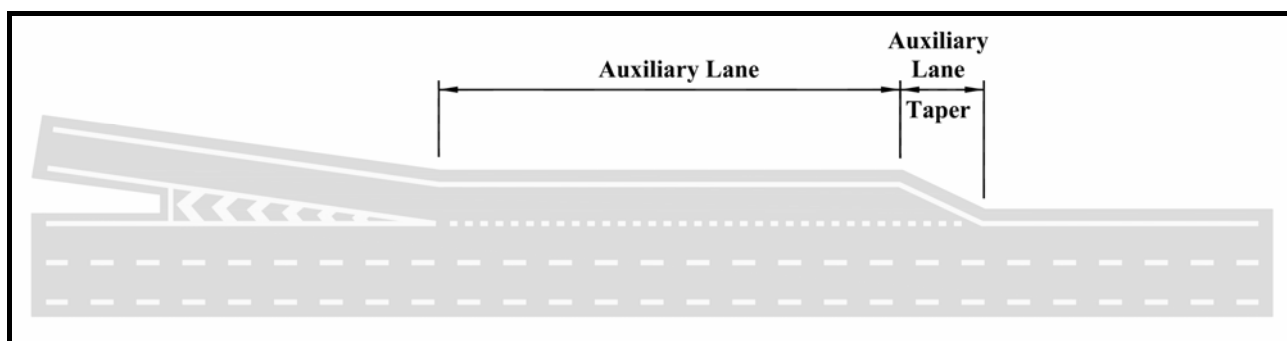
Tilkørselsrampenes udformning er i de engelske vejregler baseret på spidstimetrafikken på tilkørselsrampen og den gennemgående vej. For at kompensere for tunge køretøjer og stigende gradienter, multipliceres trafikmængden på vejstrækningerne med faktorerne, som fremgår af tabel 2-9. Når trafikmængden på den gennemgående vej og tilkørselsrampen er estimeret, kan rampeudformning aflæses i en figur. Denne figur angiver 8 mulige rampeudformninger. Af figur 2-12 og figur 2-13 fremgår de rampeudformninger, som kan sammenlignes med de mest anvendte ramper i Danmark. De resterende udformninger er ramper med mere end et kørespor, hvilket sjældent anvendes i Danmark. Tilkørselsbanen udformet efter princippet i figur 2-13 anvendes til at give ekstra plads til flettemanøvrer, og bør anlægges, når trafikken på tilkørselsrampen og den gennemgående vej i visse situationer nærmer sig kapacitetsgrænsen. Længderne af tilkørselsrampenes elementer fremgår af tabel 2-10. I situationer hvor den samlede trafikmængde på den gennemgående vej og tilkørselsrampen når 85 % af kapaciteten i mere end 1000 timer i året, bør længden af tillægsbanen forlænges fra 230 m til 370 m. [The Highways Agency, 2006]

TABEL 2-9 Faktorer som spidstimetrafikken multipliceres med, når der forekommer tungekøretøjer og stigende gradienter på henholdsvis den gennemgående vej og tilkørselsrampen. [The Highways Agency, 2006]

Lastbil %	Gennemgående vej		Tilkørselsrampe		
	<20 ‰	≥ 20 ‰	< 20 ‰	20-40 ‰	≥ 40 ‰
5		1,10		1,15	1,30
10		1,15		1,20	1,35
15		1,20	1,05	1,25	1,40
20	1,05	1,25	1,10	1,30	1,45



FIGUR 2-12 Eksempel på udformning af tilkørselsrampe til motorvej efter engelske vejregler. [The Highways Agency, 2006]



FIGUR 2-13 Eksempel på en tillægsbane efter engelske vejregler. [The Highways Agency, 2006]

TABEL 2-10 Geometriske design parametre for indfletningsbaner til motorveje. [The Highways Agency, 2006]

Længde af kilestrækning (taper) [m]	Vinkeldrejning	længde af spærreflade (nose) [m]	Længde af tillægsbane (auxiliary Lane) [m]	Længde af kilestrækningen efter en tillægsbane
205	1:40	115	230	75

Efter de engelske vejregler skal tilkørselsramperne projekteres til en hastighed på 70 km/t, hvilket har betydning for tilkørselsrampens udformning før spærrefladen. På denne stækning er det gradienten og hensynet til stopsigt som er dimensionsgivende. I de engelske vejregler må en motorvej ikke anlægges med en gradient større end 30 ‰, og tilkørselsrampen må ikke anlægges med en gradient større end 60 ‰. Der kan dog foretages afvigelser fra dette i kuperet terræn, hvilket dog kræver godkendelse fra den overordnede myndighed [The Highways Agency, 2002]. I England skal der minimum være en fri højde på 5,3 m, hvilket med en konstruktionshøjde på ca. 1 m og maksimal gradient giver en længde på 105 m for stækningen før spærrefladen [The Highways Agency, 2005]. Ved 70 km/t er stopsigten efter de engelske vejregler 120 m [The Highways Agency, 2002]. Desuden angiver reglerne, at der minimum skal være en længde svarende til længden af spærrefladen før konvergenssnittet [The Highways Agency, 2006]. Dette betyder at længden som minimum skal være 120 m hvis hældningen er 60 ‰. Ved en hældning på mindre end 53 ‰ er det gradienten, som bliver dimensionsgivende, og hermed afgør længden af tilkørselsrampen før spærrefladen.

2.5.3 Sammenligning med det danske vejregelforslag

Det har ikke været muligt at foretage en sammenligning med det danske vejregelforslag. Dette skyldes at de engelske færdselsregler mht. indfletning, er væsentlig forskellig fra de danske færdselsregler. Endvidere er der ikke specifikke krav til, hvilken hastighed køretøjerne skal opnå inden konvergensnittet.

2.6 Tyske vejregler

I Tyskland består vejreglerne af en meget omfattende samling af tekniske regler og officielle bestemmelser for vejvæsenet. Det samlede regelværk kaldes "Strassenbau von A-Z", og består af mange forskellige og enkeltstående skilleblade, som kan udskiftes efterhånden som reglerne fornys, eller der kan tilføjes ekstra skilleblade til selve regelsættet, efterhånden som disse bliver udarbejdet. I 2006 er dette værktøj også gjort tilgængeligt i en elektronisk udgave, der skal sikre hurtigere opdateringer af regelsættet. Den elektroniske udgave muliggør endvidere en lettere manøvrering i det omfattende regelsæt. Regelsættet der omfatter retningslinier inden for hele vejvæsenet, er udarbejdet af forskellige institutioner. Dette omfatter private virksomheder, vejvæsenet eller forskellige forskningsinstitutioner mm. i Tyskland. Udarbejdelsen og ikrafttrædelse af de forskellige retningslinier, fremgår af de enkelte skilleblade.

I det tyske regelsæt forefindes der retningslinier for udformning af tilkørselsramper og forbindelsesramper i: "Richtlinien für die Anlage von Landstrassen (RAL), Teil III: Knotenpunkte (RAL-K), Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (RAL-K-2)". Disse retningslinier er udarbejdet ved "Institut für Strassen und Verkehrswesen" på universitetet i Stuttgart, og indført i det tyske regelsæt i 1976. Disse retningslinier er anvendt i den efterfølgende beskrivelse af accelerationsværdier og accelerationslængder. [Fauser et al, 1976]

2.6.1 Accelerationsværdier

I den tyske samling af regler og bestemmelser for vejvæsenet, er der ikke fundet accelerationsværdier for de forskellige køretøjstyper. En forespørgsel hos en tysk professor (Prof. Werner Brillon) ved Ruhr Universität i Bochum har klarlagt, at der i det tyske regelsæt ikke er intentioner om at indføre accelerationsværdier til bestemmelse af tilkørselsrampenes længder. Han antydede endvidere, at det efter det tyske regelsæt ikke var interessant, at anvende kinematiske betragtninger til bestemmelse af tilkørselsrampens længde, da trafikantens adfærd på tilkørselsrampen styres af trafikbelastningen på tilkørselsrampen og den gennemgående vej. Det er min vurdering, at denne betragtning udspringer af reglerne mht. færdsel på tilkørselsramperne efter den tyske færdselslov. Af denne fremgår det, at det er trafikken på den gennemgående vej, der har forkørselsretten [Fahrtipps.de, 2006]. Dette betyder, at trafikanten på tilkørselsrampen må underordne sig trafikken på den gennemgående vej, hvilket kan resultere i nedsatte hastigheder på tilkørselsrampen og dermed ikke samme krav til opnået indfletningshastighed, som i det danske vejregelforslag.

2.6.2 Accelerationslængder

Ved projektering af tilkørselsramper skal der tages hensyn til, at hastighedsforskellen mellem det gennemkørende køretøj og det indkørende køretøj ikke bliver for stor. I denne henseende regnes der med gennemsnitshastigheden på tilkørselsrampen og gennemsnitshastigheden i motorvejens højre kørespor [Fauser et al, 1976]. Dette medfører, at der i det tyske regelsæt ikke er specifikke krav til længderne af tilkørselsramperne, men derimod til indfletningsstrækningens længde. Dette betyder at tilkørselsrampenes længder er baseret på retningslinierne for tracering af den horisontale og vertikale kurvatur, hvor kravet til stopstigt er det afgørende. Ved projektering

af tilkørselsramperne er "Entwurfsgeschwindigkeit [km/t]" den bestemmende faktor, for bestemmelse af stopsigtelængde og valg af minimumsradius. Denne hastighed angiver, hvor hurtigt et køretøj kan køre på den pågældende vejstrækning når vejbanen er våd. Tilkørselsramperne skal efter det tyske regelsæt projekteres med en "Entwurfsgeschwindigkeit" på mellem 30 og 80 km/t, hvilket afhænger af rampens udformning som direkte eller indirekte tilkørselsrampe. Af tabel 2-11 fremgår minimumsværdierne for tilkørselsrampens elementer. [Fauser et al, 1976]

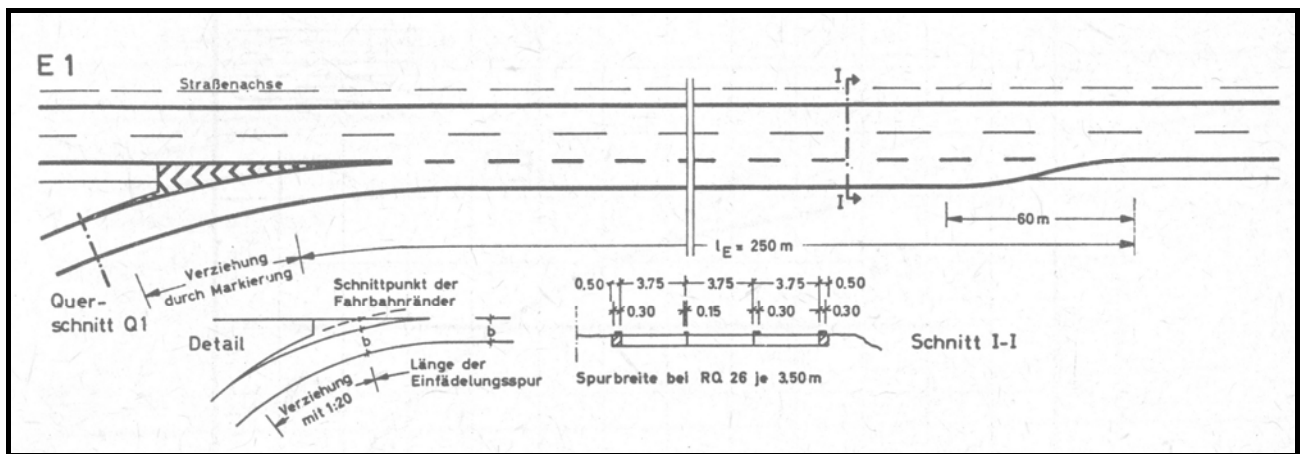
TABEL 2-11 Minimumsværdier for tilkørselsrampens elementer [Fauser et al, 1976]

	"Entwurfsgeschwindigkeit"					
	30	40	50	60	70	80
Minimumsradius [m]	25	50	80	130	190	280
Største stigende længdegradient [‰]	50					
Største faldende længdegradient [‰]	60					
Konveks vertikalkurve [m]	500	1000	1500	2000	2800	4000
Konkav vertikalkurve [m]	250	500	750	1000	1400	2000
Stopsigtelængde [m]	25	30	40	60	85	115

I det tyske regelsæt udformes tilkørselsramperne og den dertilhørende flettestrækning efter 5 principskitser, hvor selve udformningen afhænger af trafikbelastningen på motorvejen og trafikbelastningen på tilkørselsrampen. Ud fra trafikmængderne kan den principielle udformning bestemmes via figuropslag. I denne beskrivelse af tilkørselsrampernes udformning, er kun den type tilkørselsrampe, som kan sammenlignes med tilkørselsrampernes udformning i Danmark beskrevet.

Som tidligere nævnt er det kravene til traceringen, som er bestemmende for tilkørselsrampens længde. Af figur 2-14 fremgår udformningen af en enssporet tilkørselsrampe tilsluttet en 2 sporet motorvej, hvoraf det fremgår hvorledes flettestrækningen udformes efter det tyske regelsæt. Flettestrækningen udformes som et parallelt spor til motorvejen med en kileformet afslutning. Den samlede længde af flettestrækningen skal minimum være 250 m, heri indgår også kilestrækningen, der udformes med en længde på 60 m. Der er ikke krav i det tyske regelsæt om at disse længder varieres afhængig af længdegradienten eller andelen af tunge køretøjer. Længden måles fra det punkt, hvor tilkørselsrampens fiktive venstre kørebane kant skærer motorvejens højre køresporskant. Det er tilkørselsrampens fiktive kørebane kant, idet tilkørselsrampens bredde indsnævres fra 5 m til 3,45 m ved spærrefladen jf. figur 2-14. Flettestrækningen er tilsluttet den resterende tilkørselsrampe via af vinkeldrejning på 1:20. [Fauser et al, 1976]

Summeres længden af flettestrækningen med længden af den resterende del af tilkørselsrampen, som er projekteret så kravet til stopsigt er dimensionsgivende, giver det ved en "Entwurfsgeschwindigkeit" på 80 km/t en længde af tilkørselsrampen på 365 m.



FIGUR 2-14 Principskitse for udformningen af tilkørselsramper efter det tyske regelsæt [Fausser et al, 1976].

2.6.3 Sammenligning med det danske vejregelforslag

Idet de tyske færdselsregler er forskellige fra den danske færdselslov mht. indfletning fra en tilkørselsrampe til en motorvej, er det vurderet, at det ikke er muligt at foretage nogen sammenligning af tilkørselsrampenes længder. Desuden er der ikke foretaget sammenligninger af accelerationsværdier, da der ikke er fundet accelerationsværdier i det tyske regelsæt.

2.7 Amerikanske vejregler

I USA udfærdiges der nationale retningslinier af AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), som kan anvendes ved design og projektering af motorveje. Retningslinierne har været udgivet siden 1930 i forskellige udgaver, hvoraf den nyeste udgave er fra 2001 (A Policy on Geometric design of Highways and Streets). I litteraturen refereres der dog ofte til "the Green Book", der er retningsliniernes uofficielle titel. Ved udfærdigelsen af disse retningslinier gennemgås en bestemt procedure. Først udfærdiger en komite samt en arbejdsgruppe bestående af medlemmer fra alle stater i USA dokumenter omkring det fagspecifikke emne. Dokumenterne er udfærdiget på baggrund af bedste praksis og nyeste forskning inden for fagområdet. Dette godkendes efterfølgende af den overordnede komite, før disse kan publiceres som retningslinier/manualer. [AASHTO, 2001]

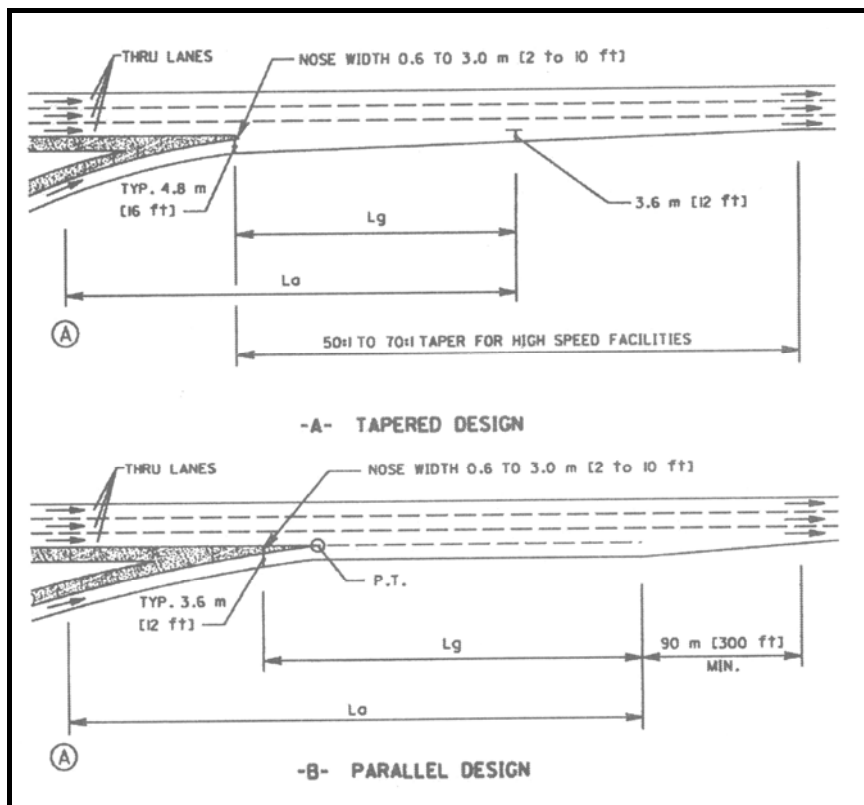
For at retningslinierne kan udgøre en standard, skal denne godkendes af de respektive stater, som ønsker at anvende manualen og de dertilhørende værdier [Sensitivesolutions.org 2006]. På Internettet er der fundet designmanualer for følgende stater: Connecticut, Californien, Oregon, New York samt Washington. Disse manualer anvender alle værdier fra the Green Book, hvilket tyder på at mange stater implementerer retningslinierne fra manualen. Det er derfor vurderet, at "the Green Book" vil være repræsentativt for det amerikanske motorvejsnet, og anvendes derfor til den efterfølgende beskrivelse af accelerationsværdier og accelerationslængder.

2.7.1 Accelerationsværdier

I den nuværende udgave af den amerikanske designmanual, forefindes der ingen beregningsmodeller til beregning af personbiler eller andre køretøjstypers accelerationsværdier. Dette medfører, at det ikke er muligt at foretage nogen sammenligning med værdierne i det danske vejregelforslag.

2.7.2 Accelerationslængder

I den amerikanske designmanual er det anbefalet, at udforme tilkørselsramperne efter to forskellige principper jf. figur 2-15. De to typer er henholdsvis en kileformet tilkørselsrampe, der ligner den danske udformning af tilkørselsramper, samt en parallel tilkørselsrampe. I designmanualen er der ikke anbefalinger til, hvornår den ene type foretrækkes frem for den anden. Dette er op til den projekterende at afgøre.



FIGUR 2-15 Principskitse for udformningen af tilkørselsramperne efter den amerikanske designmanual [AASHTO, 2001]

Den kileformede tilkørselsrampe udformes som vist på figur A i figur 2-15 og tilsluttes motorvejen med en vinkel mellem 50:1 og 70:1. Ved udformningen af den kileformede tilkørselsrampe er der anbefalinger til to forskellige længder: En accelerationslængde (L_a) samt en "Gap acceptance length" (L_g). Den sidstnævnte længde skal minimum være mellem 90 og 150 m lang afhængig af bredden af tilkørselsrampens næse (nose jf. figur 2-15). Accelerationslængden regnes fra det punkt på tilkørselsrampen, hvor afstanden mellem tilkørselsrampens højre kørebane kant og den gennemgående vejs højre kørebane kant er 3,6 m, og tilbage mod tilkørselsrampens begyndelse. Inden for denne strækning skal den horisontale kurvatur minimum være 300 m eller større. Accelerationslængden afhænger af designhastigheden på motorvejen, køretøjernes begyndeshastighed samt tilkørselsrampens gradient, hvilket fremgår af tabel 2.12. Designhastigheden, som i manualen anbefales til 110 km/t, kan her sammenlignes med ønsket hastighed i de danske vejregler. Accelerationslængderne fremgår af tabel 2-12, hvor længderne er baseret på gradienter der ligger i intervallet fra -20 ‰ til +20 ‰. Projekteres tilkørselsramperne med en gradient, der ligger uden for det førnævnte interval, multipliceres accelerationslængderne med faktorerne angivet i tabel 2-13. Accelerationslængderne angivet i tabel 2-12, og de længder der fremkommer ved multiplikation med faktorerne fra tabel 2-13 svarer til de accelerationslængder, en bilist skal bruge for at opnå en hastighed, som maksimalt ligger 10 km/t under gennemsnitshastigheden på den gennemgående vej, inden køretøjet når punktet hvor L_a ophører.

Den parallelle tilkørselsrampe består i princippet af et ekstra spor til motorvejen, som indsnævres til antallet af spor på motorvejen via en kilespids i slutningen af tillægssporet jf. figur B i figur 2-15. Det er i designmanualen anbefalet, at tillægssporet tilsluttes den resterende del af tilkørselsrampen via en kurve med radius 300 m eller større, hvilket medfører at trafikanten ikke kører direkte ud på motorvejen, men istedet benytter tillægssporet. Ved den parallelle tilkørselsrampe har L_g og L_a samme længde, som på den kileformede tilkørselsrampe. På denne type tilkørselsrampe regnes accelerationslængden fra det punkt, hvor tilkørselsrampens venstre kørebane kant møder den gennemgående vejs højre kørebane kant og frem til begyndelsen af kilespidsen jf. figur 2-15. Den afsluttende kilespids udformes med en længde på minimum 90 m. Accelerationslængderne for den parallelle tilkørselsrampe bestemmes på samme måde, som ved den kileformede tilkørselsrampe.

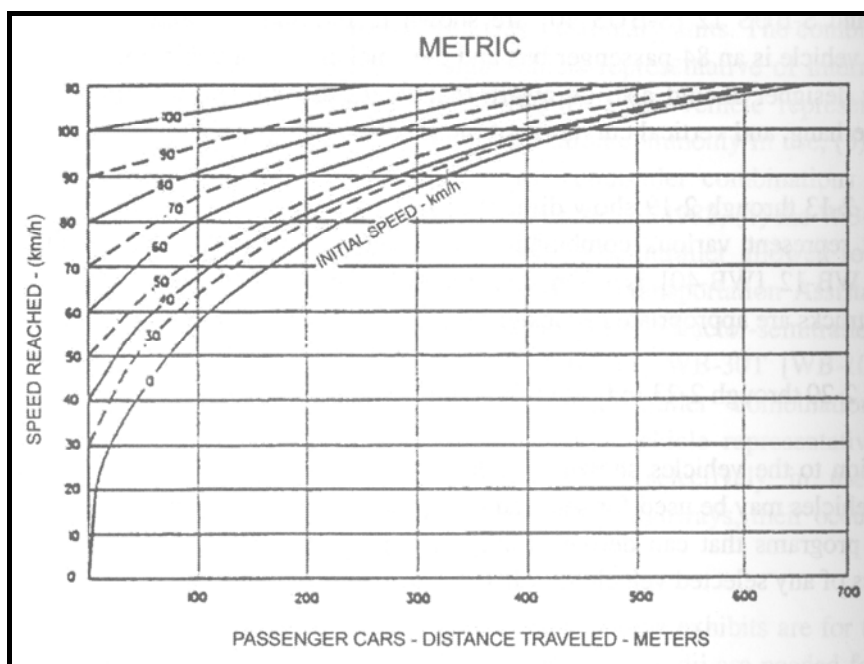
Det fremgår af tabel 2-12, at der i designmanualen ikke regnes med at gennemsnitshastigheden på den gennemgående vej ligger i nærheden af designhastigheden. Eksempelvis regnes der med, at køretøjet kun skal kunne opnå en hastighed på 81 km/t på tilkørselsrampen ved en designhastighed på 110 km/t. Endvidere fremgår det ikke af designmanualen, hvilket køretøj der er dimensionsgivende for accelerationslængden. Det er vurderet, at det ikke er personbilen som er dimensionsgivende med hensyn til accelerationslængder på tilkørselsramperne. Denne vurdering er baseret på det faktum, at der af designmanualen også fremgår accelerationskurver for personbiler jf. figur 2-16. Heraf fremgår det at accelerationslængden for en personbil, der accelererer fra 0 km/t til en hastighed på 81 km/t, er ca. 230 m, hvilket ikke svarer til de accelerationslængder angivet i tabel 2-12. Dette kunne tyde på, at der i den amerikanske designmanual mere eller mindre tages højde for tunge køretøjers accelerationsevne ved projektering af tilkørselsramperne.

TABEL 2-2-12 Minimums accelerationslængder (L_a) angivet i den amerikanske designmanual når tilkørselsrampens gradient er $>-20\text{ ‰}$ og $<+20\text{ ‰}$. [AASHTO, 2001]

Motorvej		Begyndeshastighed på tilkørselsrampen [km/t]							
Design hastighed [km/t]	Opnået hastighed [km/t]	0	20	28	35	42	51	63	70
50	37	60	50	30	-	-	-	-	-
60	45	95	80	65	45	-	-	-	-
70	53	150	130	110	90	65	-	-	-
80	60	200	180	165	145	115	65	-	-
90	67	260	245	225	205	175	125	35	-
100	74	345	325	305	285	255	205	110	40
110	81	430	410	390	370	340	290	200	125
120	88	545	530	515	490	460	410	325	245

TABEL 2-13 Faktorer som multipliceres med accelerationslængden når tilkørselsrampens gradient er $>+20\text{ ‰}$ og $<-20\text{ ‰}$ [AASHTO, 2001]. Gradienter med positivt fortegn regnes for stigende.

Design hastighed [km/t]	Hastighed på tilkørselsrampen før accelerationsstrækningen [km/t]					
	40	50	60	70	80	Alle
Gradient	+30 til +40 ‰					-30 til -40 ‰
60	1,3	1,4	1,4	-	-	0,7
70	1,3	1,4	1,4	1,5	-	0,65
80	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	0,65
90	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	0,6
100	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	0,6
110	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	0,6
120	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	0,6
Gradient	+50 til +60 ‰					-50 til -60 ‰
60	1,5	1,5	-	-	-	0,6
70	1,5	1,6	1,7	-	-	0,6
80	1,5	1,7	1,9	1,8	-	0,55
90	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	0,55
100	1,7	1,9	2,2	2,4	2,5	0,5
110	2,0	2,2	2,6	2,8	3,0	0,5
120	2,3	2,5	3,0	3,2	3,5	0,5



FIGUR 2-16 Personbilers accelerationslængde i forhold til opnået hastighed og begyndelseshastighed jf. den amerikanske designmanual [AASHTO, 2001]

2.7.3 Sammenligning med det danske vejregelforslag

Det er vurderet, at der til udarbejdelsen af figurerne og tabellerne, der angiver køretøjernes accelerationslængde i den amerikanske designmanual, må være anvendt en beregningsmodel, der kan angive køretøjernes accelerationsværdier. Det har ikke været muligt at fremskaffe information om de bagvedliggende data til udarbejdelsen af figurerne og tabellerne, hvilket har medført, at der ikke er foretaget en sammenligning med accelerationsværdierne i det danske vejregelforslag.

Det er vurderet, at det er muligt og foretage en sammenligning af accelerationslængderne i den amerikanske designmanual med accelerationslængderne i det danske vejregelforslag. Dog er kravene til opnået indfletningshastighed i den amerikanske designmanual ikke i overensstemmelse med kravene i det danske vejregelforslag. Derfor er der foretaget en sammenligning af værdierne fra det danske vejregelforslag med værdierne fra designmanualen ved en designhastighed på 120 km/t, idet køretøjerne her opnår en hastighed på 88 km/t, der tilnærmelsesvis svarer til den danske indfletningshastighed. Endvidere er der ved stigende gradienter > 20 ‰ regnet med faktorer fra tabel 2-13 ved den laveste hastighed.

Sammenligningen fremgår af tabel 2-14, hvoraf det ses at accelerationslængderne, under de givne forudsætninger, stort set er lige store ved faldende gradienter i henholdsvis den amerikanske designmanual og det danske vejregelforslag. Der er dog stor forskel i accelerationslængden, når gradienten ligger i intervallet fra -20 ‰ til +20 ‰. Det danske vejregelforslag giver den korteste accelerationslængde ved negativ gradient, mens den amerikanske designmanual giver den korteste accelerationslængde ved positiv gradient inden for det førnævnte interval. Det er vurderet at sammenligningen ikke giver en entydig forklaring på, om accelerationslængderne anvendt i det danske vejregelforslag er tidssvarende, set i forhold til accelerationslængderne anvendt i den amerikanske designmanual. Dette skyldes, at figur 2-16 viser, at personbilernes accelerationsevne er væsentlig bedre end de accelerationslængder, som er angivet i den amerikanske designmanual. Derfor kan sammenligningen muligvis være misvisende, idet sammenligningen ikke er baseret på samme dimensionsgivende køretøj.

TABEL 2-14 Sammenligning af accelerationslængder fra den amerikanske designmanual med accelerationslængderne fra det danske vejregelforslag. Forskellen er i forhold til værdierne fra det danske vejregelforslag.

Gradienter [‰]	Accelerationslængder [m]							
	-50	-40	-30	-20	+20	+30	+40	+50
Amerikanske	273	327	327	545	545	818	818	1254
Danske	259	283	314	352	745	830	830	961
Forskel	-14	-44	-13	-193	+200	+12	+12	-293

2.8 Accelerationsværdier og accelerationslængder fra beregningsmodeller og simuleringsprogrammer

I vejreglerne, både danske og udenlandske, er bestemmelsen af accelerationsværdierne og udregningen af accelerationslængderne ofte baseret på mere eller mindre komplicerede matematiske beregningsmodeller. Disse er ofte kalibreret i henhold til den nationale vognpark vha. accelerationsmålinger af forskellige køretøjers accelerationsformåen, hvorunder der endvidere er taget hensyn til trafikanternes adfærd. Det er konstateret, ved gennemgangen af de forskellige vejregler, at disse værdier kan være af ældre dato, hvilket bevidner om manglende tilpasning af værdierne efter udviklingen af køretøjernes teknologi.

Derfor er der i de følgende afsnit foretaget en belysning af hvilken matematisk beregningsmodel, som på nuværende tidspunkt egner sig bedst til beregning af køretøjers accelerationsværdier. Dette er i det efterfølgende belyst ud fra en amerikansk undersøgelse af flere forskellige beregningsmodeller. Værdierne fra beregningsmodellen er anvendt til sammenligning med accelerationsværdierne og accelerationslængderne i det danske vejregelforslag.

Endvidere er der i de efterfølgende afsnit fokuseret på de accelerationsværdier og accelerationslængder, som anvendes i forskellige simuleringer verden over. I denne undersøgelse er der inddraget 2 programmer (VISSIM og aaSIDRA). Det er valgt at inddrage accelerationsværdier fra simuleringerne, idet disse simulerer hvorledes trafikken afvikles på en lokalitet på mikroniveau. Dette betyder, at simuleringerne nødvendigvis må anvender realistiske accelerationsværdier, for at kunne afspejle køretøjernes faktiske acceleration. Værdier fra de to simuleringer er anvendt til sammenligning med accelerationsværdier og accelerationslængder fra det danske vejregelforslag.

2.8.1 Amerikanske undersøgelser af forskellige accelerationsmodeller for køretøjer

I en amerikansk undersøgelse udført af Virginia Tech Transportation Institute, præsenteret på det 83. Transportation Research Board, er forskellige matematiske accelerationsmodeller for køretøjer sammenlignet med data fra 13 forskellige køretøjer. Undersøgelsens formål er at belyse hvilken matematisk accelerationsmodel, der forudsiger køretøjernes maksimale acceleration mest nøjagtig og realistisk. Dette skal bl.a. anvendes til at foreslå, hvilken beregningsmodel der er bedst anvendelig og mest realistisk at anvende i de forskellige mikrosimuleringsprogrammer, der anvendes til at simulere køretøjernes bevægelser i et givent vejnet [Rekha et al, 2003].

Undersøgelsen beskæftiger sig med de mest aktuelle beregningsmodeller til bestemmelse af køretøjernes maksimale acceleration afhængig af hastigheden. Ved sammenligningen med accelerationsværdierne fra det danske vejregelforslag er der taget højde for, at beregningsmodellen beregner den maksimale acceleration og ikke den acceleration, som trafikanten oplever acceptabel.

I undersøgelsen er følgende fem matematiske beregningsmodeller anvendt og brugt til sammenligning med 13 forskellige køretøjers målte accelerationer:

- Polynomisk model
- Model med to konstante accelerationsværdier
- Lineær aftagende model
- Searle model
- Rekha model

De tre første modeller er kinematiske modeller baseret på de matematiske forhold mellem acceleration, hastighed og afstand. Der har i tidens løb været foreslået andre kinematiske modeller, som skulle tage højde for, at den maksimale acceleration først indtræffer kort efter accelerationsstart og ikke ved accelerationsstart. Undersøgelser har dog vist, at de tre førstnævnte modeller giver mere realistiske resultater, når det gælder forudsigelse af køretøjernes faktiske accelerationer [Akcelik et al, 1987] [Bham et al, 2002]. De tre modeller tager ikke højde for motorens trækraft, modstandskræfter, køretøjstyper og vejens gradient. Dette medfører, at modellerne er svære at kalibrere, hvilket medfører at modellerne ikke i alle situationer giver et realistisk resultat, som matcher køretøjernes faktiske og aktuelle accelerationer [Rekha et al, 2003].

De to sidste modeller er udviklet for at tage hensyn til de faktorer, som de tre første modeller ikke medregner. De to modeller er baseret på køretøjernes dynamik, og beregner køretøjernes maksimale acceleration med udgangspunkt i den kraft køretøjet producerer, samt den interne og ydre friktionskraft. De indre friktionskræfter stammer fra den mekaniske friktion i køretøjets motor under gearskift, mens de ydre friktionskræfter stammer fra luftmodstanden, vejfriktionen samt vejens hældning. Seale mo-

dellen giver dog ikke præcise resultater i begyndelsen af accelerationen og acceleration ved høje hastigheder, sammenlignet med køretøjernes faktiske accelerationer. Den sidste model er derfor udledt, for at tage hensyn til dette.

Undersøgelsen viste at Rekha modellen havde tre fordele. Den forudsagde værdier, som var sammenlignelige med målte værdier inden for 5 områder: Hastighed overfor distance, hastighed over for tid, acceleration overfor hastighed, acceleration over for tid og acceleration overfor distance. Modellen er fleksibel mht. forskellige køretøjstyper, forskellige belægninger og vejens forløb. Endvidere er modellen let at kalibrere, fordi den ikke kræver målte dataset, idet indgangsparametre kan rekvireres over Internettet, i bilmagasiner eller køretøjernes manualer. Modellen udmærker sig i denne undersøgelse, hvor målte data er sammenlignet med beregnede værdier, og den er derfor beskrevet i det efterfølgende. [Rekha et al, 2003]

$$a = \frac{F - R}{M}$$

2-5

Hvor:

a	er accelerationen [m/s ²]
F	er køretøjets trækraft [N]
R	er de ydre friktionskræfter [N]
M	er køretøjets vægt [kg]

Indsættes parametrene i formel 2-5 fremkommer formel 2-6 og 2-7. Formel 2-7 anvendes ved lave hastigheder, mens formel 2-6 anvendes når den hastighed, som bestemmes af formel 2-8, er opnået.

$$a = \frac{3600 \cdot \eta \cdot \beta \cdot \frac{P}{v} - (c_1 \cdot C_d \cdot C_h \cdot A \cdot v^2 + G \cdot C_r \cdot (c_2 \cdot v + c_3)) \cdot \frac{M}{1000} + G \cdot M \cdot i}{M}$$

2-6

$$a = \frac{G \cdot M_{ta} \cdot \mu - (c_1 \cdot C_d \cdot C_h \cdot A \cdot v^2 + G \cdot C_r \cdot (c_2 \cdot v + c_3)) \cdot \frac{M}{1000} + G \cdot M \cdot i}{M}$$

2-7

Hvor:

P	er motorens kraft [kW] (1 hk = 0.746 kW)
v	er køretøjets punkthastighed [km/t]
β	er en variabel kraftfaktor (1 ved personbiler)
η	er transmissionens effektivitet (0,65-0,80 for personbiler)
G	er tyngdeaccelerationen [m/s ²]
M_{ta}	er vægten på den trækkende aksel [kg] (50-65 % af vægten ved forhjulstrukket køretøj, 100 % ved firehjulstrukket køretøj)
μ	er friktionskoefficienten mellem belægningen og køretøjets dæk (0,6 ved god asfalt belægning)
c_1	er en konstant med værdien 0,047285
C_d	er en luftmodstandskoefficient der for personbiler ligger mellem 0,3 og 0,35
C_h	er en højdekoefficient og beregnes af $1-0,000085H$, hvor H er højden over havoverfladen

A	er køretøjets frontareal [m^2] (normalt 85 % af højde gange bredde)
C_r	er en rullekoefficient der afhænger af belægningen (1,25 ved god asfalt belægning)
C_2	er en koefficient for dæktype (0,0328 for radial dæk)
C_3	er endnu en koefficient for dæktype (4,575 for radial dæk)
i	er gradienten [$m/100m$]

$$v = \frac{3600 \cdot \eta \cdot \beta \cdot P}{G \cdot M_{ta} \cdot \mu}$$

2-8

[Rekha et al, 2003]

For at sammenligne accelerationsværdierne beregnet ved hjælp af formel 2.5, med accelerationsværdierne fra det danske vejregelforslag, er der udført en beregning af accelerationsværdierne ved sammenlignelige hastigheder, ved brug af data fra et repræsentativt køretøj for den danske bilpark. Accelerationsværdierne for et repræsentativt køretøj er beregnet ud fra følgende:

- Køretøjet kører på vandret vej
- 30 meter over havoverfladen
- 60 % af køretøjets vægt påvirker den trækkende aksel
- Transmissionseffektivitet på 0,7
- Luftmodstandskoefficient på 0,33

De resterende fakta vedrørende standardbilen fremgår af appendiks A. Konstanterne C_1 , C_2 , C_3 samt C_r , er taget fra en amerikansk undersøgelse [Rekha et al, 2001].

For at sammenligne max accelerationsværdierne med de for trafikanten acceptable værdier fra vejregelforslaget, multipliceres de maksimale accelerationsværdier med en reduktionsfaktor. I et mikrosimuleringsprogram der simulerer køretøjers emissioner og brændstofforbrug, hvori beregningsmodellen anvendes, er der anvendt accelerationsværdier, der maksimalt udgør 60 % af den maksimale acceleration [Rekha et al, 2004]. Det er heraf vurderet realistisk at anvende samme reduktionsfaktor, ved sammenligningen af accelerationsværdierne. Sammenligningen fremgår Af tabel 2-15, hvoraf det fremgår, at Rekha modellen giver større accelerationsværdier, end de værdier der anvendes i det danske vejregelforslag. Idet den matematiske model er sammenlignet med køretøjers målte accelerationer, er der på baggrund af dette og sammenligningen vurderet, at accelerationsværdierne anvendt i de danske vejregler ikke er tidssvarende. Dog med det forbehold, at accelerationsværdierne er multipliceret med en reduktionsfaktor afledt af en anden undersøgelse. Denne undersøgelsen er udført efter sammenligningen af de 5 beregningsmodeller, og derfor er reduktionsfaktoren fundet gyldig til sammenligningen af accelerationsværdierne.

TABEL 2-15 Sammenligninger af accelerationsværdier beregnet efter Rekha modellen med accelerationsværdier fra det danske vejregelforslag.

	Accelerationsværdier [m/s^2]					
Hastighed [km/t]	20	40	60	80	100	120
Rekha model	2,08	2,05	1,56	1,08	0,76	0,50
Vejregelforslag	1,7	1,5	0,9	0,6	0,4	0,3

Ved sammenligning af accelerationslængder, er der foretaget en beregning af accelerationslængderne ved brug af formel 2-1 og 2-2 fra det danske vejregelforslag. Dette betyder at accelerationsværdierne på vandret vej, beregnet ud fra Rekhamodellen, er

anvendt til at beregne accelerationsværdierne ved gradienter $\neq 0$. Det er muligt via Rekhamodellen at beregne accelerationsværdier ved stigende og faldende gradienter, men for at foretage en nøjagtig sammenligning, er accelerationsværdierne ved vandret vej anvendt i beregningerne.

Beregningerne er foretaget med hastighedsintervaller på 10 km/t svarende til værdierne i det danske vejregelforslag, samt gradientintervaller på 10 ‰. Tabel 2-16 viser accelerationslængder for personbilers acceleration til den pågældende hastighed. Tabel 2-17 viser sammenligningen mellem accelerationslængderne ved en acceleration op til 90 km/t. Det fremgår heraf at accelerationsværdierne fra Rekhamodellen resulterer i meget kortere accelerationslængder. Det er vurderet, at dette er et udtryk for, at de accelerationsværdier der anvendes i det danske vejregelforslag, ikke er tidssvarende. Det skal dog hertil siges at ved beregningen af accelerationsværdier, er der anvendt amerikanske koefficienter og værdier fra en standardbil i den danske bilpark, hvilket kan resultere i uoverensstemmelse. For at implementere modellen i det danske vejregelforslag, bør der derfor først foretages en undersøgelse af hvilke værdier der kan anvendes i beregningsmodellen, som svarer til danske forhold.

TABEL 2-16 Accelerationslængder til den pågældende hastighed ved forskellige gradienter, beregnet vha. accelerationsværdier fra Rekhamodellen ved vandret vej og den danske beregningsmodel.

Hastigheder [km/t]	Accelerationslængder fra 0 km/t [m]										
Gradienter [‰]	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20	6	6	7	7	7	7	8	8	9	9	10
30	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	22
40	24	25	26	27	29	30	31	33	35	37	39
50	39	40	42	44	46	48	51	53	56	60	64
60	59	62	65	68	71	75	80	84	90	96	103
70	87	92	96	102	108	114	122	130	140	152	166
80	124	131	139	147	157	168	181	196	214	236	264
90	171	182	193	207	222	241	262	289	322	366	425

TABEL 2-17 Sammenligning med accelerationslængderne i det danske vejregelforslag ved acceleration til 90 km/t og ved forskellige gradienter. Forskellen er i forhold til værdierne i det danske vejregelforslag.

	Accelerationslængder [m]										
Gradient [‰]	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Rekha	171	182	193	207	222	241	262	289	322	366	425
Danske	259	283	314	352	401	470	571	745	830	830	961
Forskel	+88	+101	+121	+145	+179	+229	+309	+456	+508	+464	+536

2.8.2 Accelerationsværdier i VISSIM

VISSIM er et mikrosimuleringsprogram baseret på trafikantens adfærd i trafikken, som anvendes til at simulere det reelle trafikflow indenfor og igennem afgrænsede vejnet. Hver trafikant enhed i modellen baseres på trafikantens adfærd og køretøjets karakteristika, hvilket medfører at der i programmet er indkodet foruddefinerede værdier for køretøjernes acceleration. Dette må betegnes som en gennemsnitsacceleration for en personbil, der er repræsentativ for alverdens biler. I programmet er der mulighed for selv at definere køretøjernes acceleration, men ofte anvendes de prædefinerede værdier.

I Danmark anvendes programmet til at evaluere og forudsige nye trafikale tiltags konsekvenser, før disse implementeres eller gennemføres. Værktøjet anvendes af private rådgivere og offentlige vejmyndigheder i Danmark som et støtteværktøj, til at forudsige serviceniveau og belastningsgrader mm. Da værktøjet er bredt udbredt og konsolideret i den danske vejbranche, er det derfor vurderet interessant, at sammenligne de accelerationsværdier som simuleringsprogrammet anvender, med værdierne fra vejregelforslaget.

Programmet anvender to funktioner til at beskrive køretøjets acceleration. En funktion for max acceleration, samt en funktion for den ønskelige acceleration, hvilket gælder for alle typer køretøjer. For at kunne afspejle den stokastiske fordeling af anvendte accelerationsværdier, angiver hver funktion minimum, gennemsnitlig og maksimal accelerationsværdi ved forskellige hastigheder. Til sammenligningen med det danske vejregelforslag, er den gennemsnitlige accelerationsværdi for den ønskelige acceleration for personbiler anvendt. [PTV, 2004]

I programmet er accelerationsværdierne aflæst ud fra køretøjernes karakteristik. Heraf fremgår det, at programmet regner med konstant stykvis lineær aftagende acceleration inden for hastighedsintervaller af 10 km/t. Af tabel 2-18 fremgår det, hvilke gennemsnitlige ønskelige accelerationsværdier programmet anvender ved forskellige hastigheder.

TABEL 2-18 Accelerationsværdier anvendt i mikrosimuleringsprogrammet VISSIM aflæst i programversion 3.70.

Hastighed [km/t]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Acceleration [m/s^2]	3,25	2,75	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,35	1,25	1,15	1,05

I tabel 2-19 er accelerationsværdierne fra VISSIM sammenlignet med værdierne fra det danske vejregelforslag. Heraf fremgår det, at der er stor forskel på de værdier, som anvendes til at simulere virkeligheden med, og de værdier som anvendes til at projektere efter. Ud fra dette kan det konkluderes, at værdierne som anvendes i de danske vejregler, ikke svarer til de værdier, som anvendes ved simulering af trafikken. Idet første version af VISSIM er fra 1991, er det vurderet, at værdierne heri er mere tidssvarende. Dog er det vanskeligt at sammenligne værdier, som anvendes i et simuleringsprogram, med værdier som er baseret på målinger af køretøjernes accelerationsevne.

TABEL 2-19 Sammenligning af accelerationsværdierne fra det danske vejregelforslag og værdierne fra VISSIM.

Hastighed [km/t]	Accelerationsværdier [m/s^2]					
	20	40	60	80	100	120
VISSIM	2,75	2,25	1,75	1,35	1,15	-
Vejregelforslag	1,7	1,5	0,9	0,6	0,4	0,3

Det er vurderet, at de accelerationsværdier som anvendes i VISSIM, er baseret på acceleration på vandret vej. For at sammenligne accelerationslængderne, er der foretaget en beregning af accelerationslængderne, baseret på værdierne fra VISSIM, vha. formel 2-1 og 2-2 fra de danske vejregler. I beregningerne er der anvendt hastighedsintervaller på 10 km/t samt gradientintervaller på 10 ‰. De beregnede accelerationslængder fremgår af tabel 2-20. I tabel 2-21 er der foretaget en sammenligning af accelerationslængderne, ved en acceleration fra 0 km/t til 90 km/t ved forskellige gradienter. Tabellen viser, at der er stor forskel i accelerationslængderne, afhængig af hvilke accelerationsværdier der anvendes. Accelerationslængder beregnet med accelerati-

onsværdier fra VISSIM er væsentlig kortere (fra 111 m til 669 m kortere). Dette indikerer, at værdierne anvendt i det danske vejregelforslag ikke er tidssvarende. Det er dog vurderet, at værdierne fra VISSIM ikke umiddelbart kan overføres til det danske vejregelforslag. Dette skyldes, at det er vurderet uforsvarligt at overføre værdier fra et simuleringsprogram, uden at lave en sammenligning med køretøjernes reelle accelerationsevne baseret på danske forhold og køretøjstyper.

TABEL 2-20 Accelerationslængder ved acceleration til forskellige hastigheder samt ved forskellige gradienter, beregnet vha. accelerationsværdierne fra VISSIM samt den danske beregningsmodel.

Hastigheder [km/t]	Accelerationslængder fra 0 km/t [m]											
	Gradienter [‰]	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	7
30	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15	15	16
40	21	22	22	23	24	25	26	27	29	29	30	31
50	35	36	37	39	41	42	44	47	49	49	52	54
60	54	56	58	61	64	67	70	74	78	78	83	88
70	79	82	86	90	95	100	106	112	120	120	128	138
80	110	116	121	128	135	143	152	162	175	175	189	205
90	148	156	164	173	184	196	209	225	243	243	265	292

TABEL 2-21 Sammenligning af accelerationslængder mellem det danske vejregelforslag og accelerationslængder beregnet med accelerationsværdier fra VISSIM. Accelerationslængderne er angivet ved en acceleration til 90 km/t og ved forskellige gradienter.

Gradient [‰]	Accelerationslængder [m]										
	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
VISSIM	148	156	164	173	184	196	209	225	243	265	292
Danske	259	283	314	352	401	470	571	745	830	830	961
Forskel	+111	+127	+150	+179	+217	+274	+362	+500	+587	+565	+669

2.8.3 Accelerationslængder fra aaSIDRA

aaSIDRA (aaTraffic Signalized & unsignalized Intersection Design and Research Aid) er et simuleringsværktøj, som kan anvendes til at evaluere krydsudformninger mht. kapacitet, serviceniveau, forsinkelser, kølængder, antal stop for køretøjer og fodgængere, brændstofforbrug, emissioner samt drifts omkostninger [aaSIDRA, 2006]. Programmet er udviklet i Australien og lanceret første gang i 1984. Det anvendes nu i mere end 86 lande verden over, og er konstant udviklet på basis af brugerfeedback. I programmet anvendes der en beregningsmodel, som er baseret på køretøjernes hastighed, acceleration og tiden, til beregning af accelerationslængderne. Modellen er løbende blevet kalibreret efter målinger foretaget på køretøjer i trafikken. Dog er det pointeret, at der mangler uddybende forskning, så den bagvedliggende accelerationsmodel kan håndtere forskellige krydsudformninger, køretøjstyper, trafikbelastningen samt forskellige vejklasser. [Akcelik et al, 2002]

Idet programmet anvendes i vidt forskellige lande, hvor vognparken ikke er ens, er det antaget, at beregningsmodellen er en generaliseret model uafhængig af personbilens karakteristika. Derfor er modellen fundet interessant til sammenligning med accelerationslængderne i vejregelforslaget og den er beskrevet i det efterfølgende.

Beregningen af accelerationslængder for personbiler i beregningsmodellen, beregnes efter formel 2.9:

$$L_a = \frac{m_a \cdot (v_i + v_f) \cdot t_a}{3,6}$$

2-9

Hvor:

L_a er accelerationslængden [m]
 m_a er en modelparameter bestemt af formel 2-10
 v_i er begyndeshastigheden [km/t]
 v_f er sluthastigheden [km/t]
 t_a er accelerationstiden [s] bestemt af formel 2-15

$$m_a = p_1 + p_2 \cdot v_f - p_3 \cdot v_i^{p_7}$$

2-10

Hvor:

p_1, p_2, p_3, p_7 er parametre der er forfatteren bekendte

For at modelparameteren m_a er anvendelig, skal kriterierne $m_{amin} \leq m_a \leq m_{amax}$ og $\rho_{amin} \leq \rho_a \leq \rho_{amax}$ være opfyldt. m_{amin} og m_{amax} beregnes ud fra formel 2-11 og formel 2-12 og ρ_a beregnes ud fra formel 2-13.

$$m_{amin} = \frac{v_i + \rho_{amin} \cdot (v_f - v_i)}{v_i + v_f}$$

2-11

$$m_{amax} = \frac{v_i + \rho_{amax} \cdot (v_f - v_i)}{v_i + v_f}$$

2-12

$$\rho_a = \frac{v_a - v_i}{v_f - v_i}$$

2-13

Hvor:

ρ_{amin} er en beregningsparameter på 0,4
 ρ_{amax} er en beregningsparameter på 0,7
 ρ_a er en beregningsparameter bestemt ud fra gennemsnits-, begyndelses- og sluthastigheden.
 v_a er gennemsnitshastigheden under accelerationen [km/t] bestemt ud fra formel 2-14

$$v_a = \frac{3,6 \cdot L_a}{t_a}$$

2-14

$$t_a = \frac{v_f - v_i}{a_{aa}}$$

2-15

Hvor:

v_i er begyndeshastigheden [m/s]

v_f er sluthastigheden [m/s]

a_{aa} er den gennemsnitlige acceleration [m/s²] bestemt af formel 2.16

$$a_{aa} = \frac{f_{aLV} \cdot (P_1 + P_2 \cdot \sqrt{v_f - v_i} - P_3 \cdot v_i)}{3,6}$$

2-16

Hvor:

f_{aLV} , P_1 , P_2 , P_3 er parametre der er forfatteren bekendte

v_i er begyndeshastigheden [km/t]

v_f er sluthastigheden [km/t]

På grund af ophavsrettigheder har det ikke været muligt, at oplyse værdierne for parametrene p_1 , p_2 , p_3 , p_7 , f_{aLV} , P_1 , P_2 og P_3 . Forfatteren er kender værdierne og disse er anvendt ved beregningen af accelerationslængderne.

Ved beregning af accelerationslængder efter formel 2-9 er det ikke muligt at variere gradienten, hvilket betyder, at der kun er foretaget en sammenligning med det danske vejregelforslag ved gradienter på 0 ‰. Sammenligningen fremgår af tabel 2-22. Af tabellen fremgår det, at der frem til en hastighed på 50 km/t ikke er væsentlig forskel i accelerationslængderne. Herefter bliver forskellen mere udtalt, idet aaSIDRA modellen giver væsentlig kortere accelerationslængder. Ved en acceleration fra 0-90 km/t, er der en forskel på 224 m i accelerationslængde.

TABEL 2-22 Sammenligning af accelerationslængder fra det danske vejregelforslag med accelerationslængder beregnet vha. beregningsmodellen fra aaSIDRA.

Hastigheder [km/t]	Længder [m]								
	0-10	0-20	0-30	0-40	0-50	0-60	0-70	0-80	0-90
aaSIDRA	3	12	26	47	73	106	146	193	246
Vejregelforslaget	2	9	22	40	79	126	209	306	470

Idet beregningsmodellen er kalibreret ud fra trafikmålinger, og førnævnte sammenligning viser stor forskel i accelerationslængderne, er det konkluderet at accelerationslængderne i det danske vejregelforslag, ikke er tidssvarende set i forhold til accelerationslængderne fra en beregningsmodel, som er anvendt i et simuleringsprogram verden over.

2.9 Opsummering af accelerationsværdier og accelerationslængder i forskellige udenlandske vejregler og andre undersøgelser

I de foregående afsnit er forskellige udenlandske vejregler, som er fundet interessante i forhold til det danske vejregelforslag, eller fordi det trafikale grundlag ligner det danske, beskrevet mht. accelerationsværdier og accelerationslængder. Værdierne i de udenlandske vejregler er tillige sammenlignet med værdierne fra det danske vejregelforslag. I udvælgelsen af udenlandske vejregler er der fokuseret på vejregler, som har været sprogmæssigt forståelige for forfatteren. Pga. af begrænsningen i sprogkunderskaberne kan det derfor ikke udelukkes, at der i andre europæiske lande forefindes vejregler, som ville være ligeså eller måske mere interessante, at sammenligne med det danske vejregelforslag for toplanskryds. Desuden har det ikke været muligt at op-

nå assistance fra personer med andre sprogkundskaber, hvilket har ført til begrænsningen i valget af sammenlignelige udenlandske vejregler.

I de foregående afsnit er der desuden foretaget en beskrivelse af simuleringsprogrammer og andre beregningsmodeller, som anvender eller beregner accelerationsværdier og accelerationslængder. Værdierne herfra er tillige sammenlignet med accelerationsværdierne og accelerationslængderne i det danske vejregelforslag for toplanskryds. Programmerne og beregningsmodellerne er fundet relevante ved gennemgang af litteratur og materiale på Internettet, hvilket ikke udelukker, at der eksisterer andre programmer eller beregningsmodeller, som også ville være interessante at bruge i en sammenligning. Det er vurderet, at det materiale der er anvendt, svarer til det mest tidssvarende inden for beregning og anvendelse af accelerationsværdier og accelerationslængder.

Ved gennemgangen af udenlandske vejregler, programmer samt beregningsmodeller er der fundet to vejregler, et program samt en beregningsmodel, som har været interessante at sammenligne med værdierne fra det danske vejregelforslag. Det er de svenske vejregler og den amerikanske designmanual, som er sammenlignelige med det danske vejregelforslag. Af programmerne er VISSIM fundet egnet til sammenligning med værdierne i det danske vejregelforslag. Det andet program som blev beskrevet, egner sig kun til sammenligning ved længdegradienter, der er lig 0, og er derfor ikke medtaget i den efterfølgende sammenligning.

Den svenske vejregel angiver accelerationsværdier og accelerationslængder, mens den amerikanske designmanual angiver accelerationslængder. Programmet og beregningsmodellen angiver kun accelerationsværdier. For at foretage en generel sammenligning af værdierne, er accelerationsværdierne anvendt til at beregne accelerationslængder vha. den danske beregningsmodel. Dette har ført til at de 5 metoder, til bestemmelser af accelerationslængder, kan sammenlignes indbyrdes. Dette fremgår af tabel 2-23, hvor accelerationslængderne er angivet for acceleration fra 0 til 90 km/t ved forskellige gradienter.

TABEL 2-23 Sammenligning af accelerationslængder ved en acceleration fra 0 til 90 km/t ved forskellige længdegradienter.

Gradienter [%o]	Accelerationslængder [m]										
	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
DK	259	283	314	352	401	470	571	745	830	830	961
S	212	228	247	271	300	337	388	461	581	839	-
USA	273	327	327	545	545	545	545	545	818	818	1254
Vissim	148	155	163	173	183	196	209	224	243	265	292
Rekha	171	182	193	207	222	241	262	289	322	366	425

Det fremgår af tabel 2-23, at 3 af de udvalgte modeller giver accelerationslængder, som er kortere end accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregelforslag. På basis af dette er det vurderet, at værdierne anvendt i det danske vejregelforslag ikke er tidssvarende. Denne vurdering er baseret på sammenligningen med de svenske vejregler, som er meget sammenlignelige med de danske vejregler, samt Rekhamodellen. Sammenholdes de to beregningsmodeller indbyrdes fremgår det, at den svenske beregningsmodel er en modificeret og forsimplet udgave af Rekhamodellen. I den svenske beregningsmodel beregnes modstandskræfterne, hidrørende fra luftmodstanden og friktionen med vejbanen, på basis af foruddefinerede konstanter som svarer til den svenske vognpark. Dog fremgår det af de svenske vejregler, at konstanterne anvendt til bestemmelse af accelerationsværdierne og dermed accelerationslængderne,

er fra undersøgelser udført i begyndelsen af 1970'erne. Dette er endnu en indikation af at accelerationsværdierne og dermed accelerationslængderne, som anbefales i det danske vejregelforslag ikke er tidssvarende.

For at afhjælpe dette, og dermed reducere tilkørselsrampenes længder, er det vurderet hensigtsmæssigt at beregningen af accelerationsværdier, i det danske vejregelforslag, i fremtiden bør baseres på Rekhamodellen. Modellen kan dog ikke umiddelbart overføres, idet modellen bør tilpasses danske forhold og den danske bilpark. Dette kræver en nærmere undersøgelse af køretøjstyper i den danske bilpark og sammensætningen af denne. Indførelsen af en modificeret model vil tillige medføre, at det er muligt at beregne accelerationslængder for andre typer køretøjer end personbiler.

I dette kapitel er accelerationslængderne belyst ud fra matematiske modeller og dermed teoretiske accelerationslængder, hvorimod det efterfølgende kapitel belyser accelerationslængderne ud fra den adfærd, som trafikanten udviser på tilkørselsrampen for at afgøre om de nuværende accelerationslængder er tidssvarende mht. den adfærd trafikanterne udviser.

3 Målinger af accelerationsadfærden

I det foregående kapitel blev det belyst, at accelerationsværdierne og accelerationslængderne anbefalet i de danske vejregler ikke er tidssvarende, set i forhold til et teoretisk perspektiv. På baggrund af dette er det valgt, at foretage en undersøgelse af om trafikanternes accelerationsadfærd, på de danske tilkørselsramper, svarer til den adfærd, som værdierne i det danske vejregelforslag er baseret på. Der er i vejregelforslaget ikke direkte parametre, som forklarer accelerationsadfærden, men i stedet indeholder vejregelforslaget accelerationsværdier. Disse accelerationsværdier beskriver køretøjets accelerationsevne under hensyntagen til menneskelige faktorer. Det er ikke lykkedes at fremskaffe de bagvedliggende undersøgelser, til bestemmelse af køretøjernes accelerationsevne, og derfor er det ikke muligt at give en forklaring på, hvor stor en indflydelse den menneskelige faktor har på køretøjernes accelerationsværdier.

Det er vurderet, at trafikanters accelerationsadfærd kan beskrives ud fra både fysiske og psykiske faktorer. Dette omfatter bl.a. trafikantens alder og køn, omgivelsernes indvirkning, køreerfaring, trafikbelastningen, vejr, kørebanens standard og udformning. Idet accelerationen, er et udtryk for hastighedsforøgelsen pr. sekund, er det vurderet, at accelerationsadfærden kan beskrives ud fra hastigheden. Dvs. at et køretøj som opnår en given hastighed, hurtigere eller over en kortere strækning end forventet, udviser en accelerationsadfærd som ikke svarer til den adfærd, som værdierne i vejregelforslaget er baseret på. Målinger der stedfæster hvor på tilkørselsrampen køretøjet opnår indfletningshastigheden, kan forklare trafikanternes accelerationsadfærd.

3.1 Metode til belysning af accelerationsadfærden

Anden del af projektet omhandler accelerationsadfærden på tilkørselsramper til det danske motorvejsnet. Det er i projektet valgt at anvende hastigheden, som en parameter til forklaring af trafikanternes accelerationsadfærd. Hastigheden har afgørende betydning for projektering af tilkørselsramperne, idet trafikanterne skal opnå en bestemt hastighed, før flettemanøvren kan påbegyndes. I projektet er det via målinger derfor forsøgt belyst, hvornår køretøjerne på tilkørselsrampen opnår indfletningshastigheden. Principielt burde køretøjerne opnå indfletningshastigheden i konvergenssnittet, hvis tilkørselsrampen er projekteret efter parametrene i de danske vejregler. En hypotese går dog på, at køretøjerne på tilkørselsramperne opnår indfletningshastigheden før konvergenssnittet. Målinger der stedfæster hvorpå tilkørselsramperne køretøjerne opnår indfletningshastigheden kan derfor be- eller afkræfte denne hypotese.

I projektet opstilles der specifikke kriterier for udpegning af de tilkørselsramper, som er velegnede til at udføre målinger på. Dette sikrer, at de ramper hvorpå der foretages målinger, er projekteret efter gældende parametre i vejreglerne. Udvælgelsen af tilkørselsramperne baseres på data fra Vejsektorens Informationssystem (VIS).

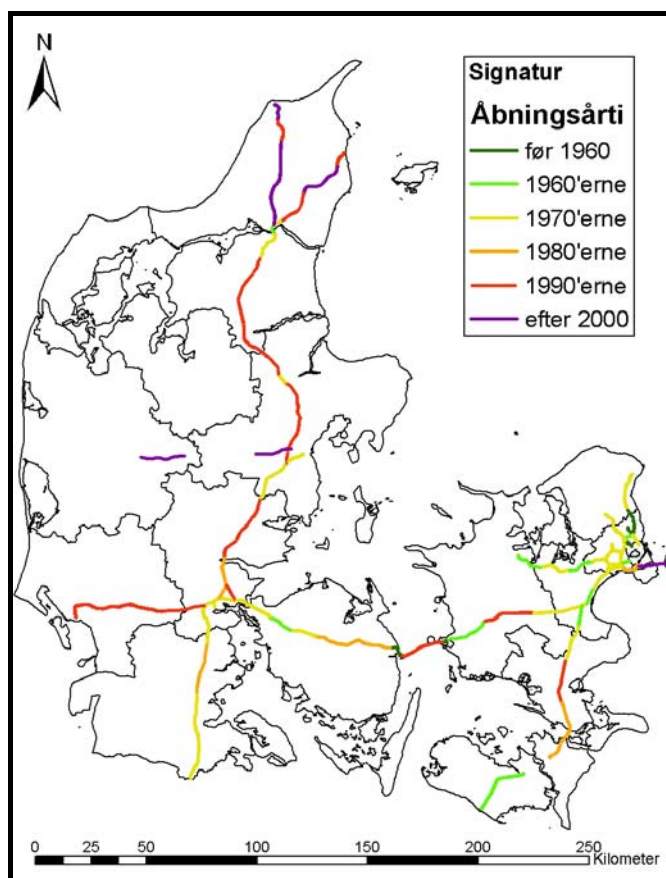
I projektet anvendes der GPS logger, som er monteret i en standard personbil, der er vurderet repræsentativ for den danske bilpark. Udpegningen af en standard bil baseres på data fra Danmarks Statistik, samt oplysninger fra De Danske Bilimportører. GPS loggeren anvendes til at påvise hvorpå tilkørselsrampen en standard personbil,

der accelererer med den under de givne omstændigheder mulige acceleration, opnår indfletningshastigheden.

For at understøtte målingerne foretages med GPS foretages der målinger af hastigheder, for frit accelererende personbiler, i 4 forskellige snit på tilkørselsrampen. Disse målinger anvendes herefter til at sammenligne den faktuelle distance, som køretøjerne anvender til at opnå indfletningshastigheden, med accelerationslængderne anbefalet i de danske vejregler.

3.2 Ramper hvorpå der foretages målinger

I Danmark er motorvejsnettet i sidste halvdel af det 20. århundrede og starten af det 21. århundrede løbende udbygget, svarende til planen om det store H. Planen om et udbygget motorvejsnet dækkende hele Danmark, er realiseret efter næsten 50 års nyanlæggelse og udbygning af det danske vejnet. Af figur 3-1 fremgår det hvornår de enkelte delstrækninger af motorvejen er åbnet. Figuren viser, at motorvejsnettet består af mange delstrækninger, som er anlagt i forskellige perioder. Dette har betydning for, hvorledes tilkørselsramperne på delstrækningerne er projekteret. Dette har indflydelse på valg af tilkørselsramper, hvorpå der skal foretages målinger. Dette skyldes at de accelerationsværdier og accelerationslængder der anvendes til projektering af tilkørselsramper i de nuværende vejregler, blev introduceret i "Projekteringsregler for motorveje" fra 1970. Dette medfører at ramper, som er projekteret før 1970, ikke konsekvent er projekteret efter de nuværende regler og parametre. Dette medfører at det ikke er hensigtsmæssigt, at udføre målinger på tilkørselsramper, der er åbnet før midten af 70'erne.



FIGUR 3-1 Udbygningen af det danske motorvejsnet inddelt på åbningsår. Kortet er lavet på baggrund af data fra VIS og VejnetDK.

I de følgende afsnit er der gjort rede for de kriterier, der er opstillet for udvælgelsen af tilkørselsramperne. Endvidere er de trafikale forhold og andre faktorer, som kan have indflydelse på målingerne på de enkelte ramper beskrevet.

3.2.1 Kriterier for valg af rampe

Ved udvælgelsen af tilkørselsramper, hvorpå der skal foretages målinger, er der foretaget en geografisk afgrænsning. Det er valgt kun at foretage målinger på den fynske og de jyske motorveje, hvilket skyldes ressourcer afsat til målearbejdet. Endvidere så fremgår det af figur 3.1, at størstedelen af motorvejsstrækningerne på Sjælland er anlagt før 1970 eller åbnet i 70'erne. Dette kan betyde, at ikke alle tilkørselsramper er projekteret efter de nuværende parametre.

Udvælgelsen af tilkørselsramper, hvorpå der skal foretages målinger, er baseret på følgende kriterier:

- Tilkørselsramperne er inddelt i direkte og indirekte ramper (sløjferamper).
- Der skelnes mellem tilkørselsramper til motorveje hvor hastighedsbegrænsningen på den gennemgående vej er 110 km/t og 130 km/t.
- Længderne af tilkørselsramperne skal tilnærmelsesvis svare til de anbefalede længder i vejreglen for toplanskryds.
- Køretøjernes hastigheder i rampens begyndelse må ikke overstige 15 km/t.
- De direkte ramper inddeles i 3 stigningskategorier jf. efterfølgende inddeling.
 - Tilkørselsramper med en gennemsnitlig stigning $\geq +10 \text{ ‰}$ *
 - Tilkørselsramper med en gennemsnitlig stigning $< +10 \text{ ‰}$ og $> -10 \text{ ‰}$
 - Tilkørselsramper med en gennemsnitlig stigning $\leq -10 \text{ ‰}$

*Ramper med stigende længdeprofil regnes positive

Det er valgt ikke at foretage målinger på tilkørselsramper, der er udformet som forbindelsesramper. Dette skyldes at accelerationen på denne type rampe, ikke svarer til en acceleration på en direkte eller indirekte tilkørselsrampe, hvor køretøjet accelererer fra en lav begyndelseshastighed. Desuden er der i udvælgelsen skelnet mellem direkte og indirekte tilkørselsramper. Dette skyldes den indirekte tilkørselsrampes udformning, som ikke giver trafikanten mulighed for at foretage en uafbrudt acceleration fra begyndelseshastigheden op til indfletningshastigheden. Dette skyldes, at den indirekte rampe ofte er anlagt med en horisontal kurve, der kun forsvarligt kan gennemkøres med en hastighed på 45 km/t eller mindre. Idet størstedelen af ramperne på det danske motorvejsnet er anlagt som direkte tilkørselsramper, er sløjferamperne ikke kategoriseret efter de 4 forskellige stigningskategorier.

Der er i udvælgelsen af ramper skelnet mellem ramper, hvor hastighedsbegrænsningen på den gennemgående vej er henholdsvis 110 km/t og 130 km/t. Dette er gjort, for at belyse om der er forskel i accelerationsadfærden på tilkørselsramper, hvor hastigheden på den gennemgående vej er 130 km/t i stedet for 110 km/t, som ramperne oprindeligt er dimensioneret til.

For at afgøre om projekteringsparametrene svarer til den accelerationsadfærd trafikanterne udviser, er det valgt kun at udpege tilkørselsramper med en længde, der tilnærmelsesvis svarer til længderne angivet i vejreglerne. Dette har muliggjort en sammenligning mellem parametrene og målingerne.

Det er valgt at udpege ramper, hvor køretøjernes hastighed er ≤ 15 km/t i begyndelsen af tilkørselsrampen. Dette er baseret på tilkørselsrampernes tilslutning til sekundærvejen, som ofte er et T-kryds eller en rundkørsel. Realistisk set vil hastigheden i

begyndelsen af tilkørselsrampen sjældent være 0 km/t. Dette skyldes, at det stort set kun er ved signalregulerede tilslutningskryds, hvor første køretøj holder for stop, at hastigheden vil være 0 km/t. Eller ved T kryds hvor der holder ventende venstresvingende køretøjer, som skal svinge ind på tilkørselsrampen.

Det er valgt at foretage en inddeling af de direkte tilkørselsramper i 3 stigningskategorier, for at muliggøre belysning af hvilken betydning tilkørselsrampens stigning eller fald har på accelerationsadfærden. Intervallerne er baseret på en vurdering af hvilke gradienter, størstedelen af tilkørselsramperne på det danske motorvejsnet er anlagt med. Det er vurderet, at størstedelen af tilkørselsramperne kan kategoriseres i den midterste kategori.

Parametre som ikke indgår i kriterierne, er trafikmængden og lastbilprocenten på den gennemgående vej og tilkørselsrampen. Disse parametre er først vurderet og klarlagt efter udvælgelsen af de tilkørselsramper, hvorpå der foretages målinger. Det er vanskeligt at opstille kriterier for, hvad trafikmængden og lastbilprocentens størrelse bør være, for at opnå acceptable målinger. Det er vurderet at en høj lastbilprocent og stor trafikmængde på tilkørselsramperne, kan resultere i lavere hastigheder end forventet, idet disse hindre bagvedkørendes frie acceleration. Desuden kan lave trafikmængder på den gennemgående vej også resultere i målinger, som ikke svarer til det forventede. Dette skyldes, at det er vurderet, at lave trafikmængder medfører en ændring i trafikanternes accelerationsadfærd. Denne er ikke tvunget til at opnå indfletningshastigheden, idet tidsgabene på den gennemgående vej er så store, at trafikanten kan flette ind med en tilfældig hastighed. Et forsigtigt skøn lyder på at en ÅDT mellem 15.000 og 30.000 køretøjer, ikke vil have nævneværdig indflydelse på trafikantens accelerationsadfærd.

3.2.2 Udpegning af ramper

Udvælgelsen af tilkørselsramper hvorpå der er foretaget målinger, er baseret på data fra VIS (Vejsektorens Informationssystem). Dette er Vejdirektoratet og amternes fælles vej- trafik- og uheldsdatabase, som indeholder de vigtigste oplysninger om vej og trafikforhold på landevejene og hovedlandevejene. Fra databasen er der udtrukket følgende oplysninger om tilkørselsramperne (også tilkørselsramper fra rastepladser) på motorvejstrækningerne i Jylland og på Fyn:

- Kilometreringen for tilkørselsrampernes elementer
- x, y og z fikspunkter for tilkørselsrampernes elementer
- Hastighedsbegrænsningen på den gennemgående vej
- Åbningsåret for motorvejens delstrækninger
- Billeder der viser tilslutningen til sekundærvejen

Med disse data er der udført beregninger, der resulterer i rampens længde fra sekundærvejens midte til konvergensnittet, rampens gennemsnitlige stigning/fald over rampens længde, samt den horisontale afstand fra sekundærvejens midte til konvergensnittet. De beregnede værdier for de registrerede tilkørselsramper findes i bilag A og på den medfølgende CD. Det har været nødvendigt at udføre disse beregninger, da de nødvendige data umiddelbart ikke forefindes i VIS.

Idet projektet beskæftiger sig med strækningen fra sekundærvejen og frem til konvergensnittet, har det været nødvendigt at beregne denne længde ud fra kilometreringen for hele rampen. Dette er gjort ved at fratække kilestrækningens længde fra tilkørselsrampens kilometrering, hvorefter nærmeste fikspunkter for tilkørselsrampens elementer er registreret. Dette kan give anledning til en lille fejlmargen, hvis den fratrukne længde ikke er sammenfaldende med et elements start eller slutpunkt. Denne

fejlmargen er dog vurderet ubetydelig i forhold til hele rampens længde. Ved brug af dette punkt er tilkørselsrampens længde beregnet ud fra kilometreringen, mens niveauforskellen mellem sekundærvejens midte og konvergensnittet er beregnet ud fra z fikspunktet.

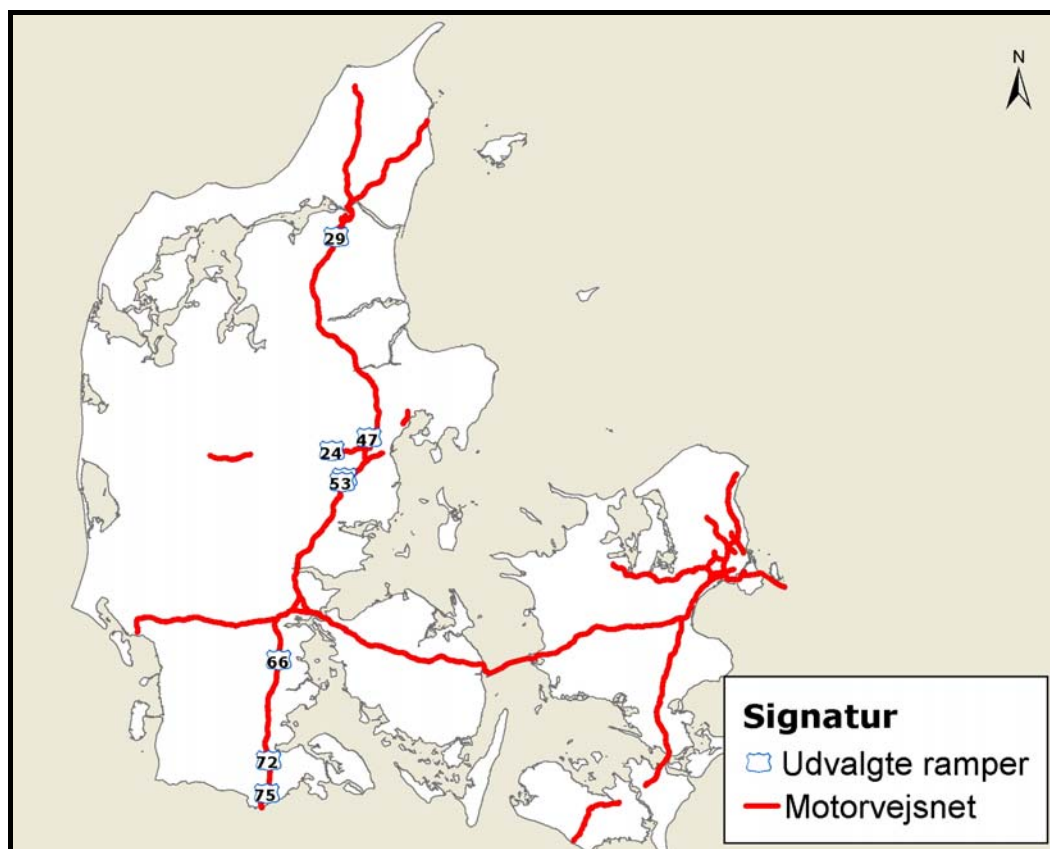
Ud fra de to føromtalte værdier er den gennemsnitlige gradient for tilkørselsrampen beregnet. I denne beregning er der ikke taget højde for tilkørselsrampens sidehældning, idet det er vurderet, at denne har ubetydelig indflydelse på tilkørselsrampens gennemsnitlige gradient. Endvidere er den horisontale afstand mellem sekundærvejens midte og konvergensnittet beregnet ud fra x og y fikspunkterne. Dette er anvendt for at afgøre om rampen er en direkte tilkørselsrampe, forbindelsesrampe eller en indirekte rampe. Dette er gjort ved at sammenligne tilkørselsrampens længde med den horisontale længde. Dette er efterfølgende verificeret ved betragtning af billeder fra de tilkørselsramper, hvor forskellen har været betydelig. Afslutningsvis er billeder for tilkørselsrampenes begyndelse betragtet, for at klarlægge køretøjernes begyndelseshastighed.

Beregningerne har resulteret i udvælgelsen af 8 tilkørselsramper jf. tabel 3-1. Beregningerne har resulteret i, at der er udvalgt 2 sløjferamper, tre direkte ramper, hvor hastighedsbegrænsningen på den gennemgående vej er 130 km/t, samt 3 ramper, hvor hastighedsbegrænsningen på den gennemgående vej er 110 km/t. Disse ramper har stort set gradienter og længder, som svarer til længderne i vejreglerne. Lokaliseringen af tilkørselsramperne på det danske motorvejsnet fremgår af figur 3-2.

Det har ikke været muligt, at fremskaffe tilstrækkelig data fra alle tilkørselsramper fra rastepladserne. Fra de data der er fremskaffet omkring tilkørselsramper fra rastepladser, har det vist sig, at tilkørselsrampenes længder er væsentlig kortere end længderne anbefalet i vejreglerne. I beregningen af tilkørselsrampens længde fra rastepladser, er længden beregnet fra den sidste mulige udkørsel fra rastepladsen til konvergensnittet på tilkørselsrampen.

TABEL 3-1 De udvalgte ramper hvor kmt henviser til ved hvilken kilometrering den pågældende tilkørselsrampe findes på det danske motorvejsnet. V og h angivelserne ved stedet, angiver i hvilken side af motorvejen den pågældende tilkørselsrampe forefindes. H angiver tilkørselsramper med stigende kilometreringen, mens v angiver tilkørselsramper, hvor kilometreringen er faldende.

Type	Sted	V _{ramp} [km/t]	V _{hast} [km/t]	Gradient [‰]	Længde [m]	Kmt
Sløjferampe	Frøslev-Kolding (v)	0	130	-8	581	20
	Fredericia-Århus (v)	0	110	-4	565	177
Direkte rampe	Århus-Herning (v)	15	130	+15	600	25
	Frøslev-Kolding (h)	0	130	+3	508	65
	Frøslev-Kolding (h)	0	130	-15	389	6
	Århus-Aalborg (v)	15	110	+24	727	277
	Fredericia-Århus (v)	0	110	+6	509	154
	Fredericia-Århus (h)	0	110	-15	410	153



FIGUR 3-2 Lokaliseringen af de udvalgte tilkørselsramper på det danske motorvejsnet repræsenteret ved det tilhørende afkørselsnummer.

3.2.3 Beskrivelser af forhold ved de udvalgte tilkørselsramper

Det er vurderet, at forhold som trafikgenererende/attraherende funktioner, samt mængden af trafik på tilkørselsramperne og motorvejen, kan have indflydelse på målingerne. Dette skyldes at store trafikmængder på motorvejen og tilkørselsramperne i spidstimerne, kan medføre kødannelse på motorvejen eller tilkørselsrampen. Store trafikmængder på motorvejen kan endvidere resultere i begrænsede indfletningsmuligheder. Ligeledes kan store Trafikmængder på tilkørselsramperne medføre, at trafikanten ikke accelererer uafhængigt af den forankørende. Disse to faktorer kan afspejle sig i accelerationsadfærden og ikke give valide målinger af køretøjernes opnåede hastigheder. Derfor er trafikmængden, antallet af tungekøretøjer (vægt > 3,5 t) samt andre forhold som kan have indflydelse på målingerne beskrevet i det efterfølgende.

I beskrivelsen er den samlede ÅDT for motorvejsstrækningen angivet, idet der ikke har været tilstrækkelige informationer til rådighed, som har kunnet angive retningsfordelingen på den pågældende strækning. Endvidere er der kun skelnet mellem tunge køretøjer med en vægt > 3,5 t. Dette er baseret på en vurdering af, at køretøjer med en vægt < 3,5 t stort set har samme accelerationsevne som en personbil.

Desuden er tilslutningen til sekundærvejen beskrevet, idet denne også kan have indflydelse på afviklingen af trafikken på tilkørselsramperne. Det er vurderet, at signalregulerede tilslutninger kan medføre trafik i "klumper". Dette skyldes, at køretøjerne holder i kø i svingbanerne, og hermed er det kun det første køretøj, som kan accelerere frit. Ved rundkørsler og T-kryds er det vurderet, at tendensen til "sammenklumpning" er mindre udtalt. Effekten af de førnævnte faktorer er vurderet under målingerne.

Ved beskrivelsen af tilkørselsrampernes lokalisering er det valgt, at beskrive ramperne ud fra den tilstødende afkørselsrampes nummer, idet dette fremgår af almindeligt kortmateriale. Endvidere er den skærende vejs navn angivet, så det er muligt for ikke stedkendte personer at finde frem til de pågældende tilkørselsramper, jf figur 3-2. Nummereringen af tilkørselsramperne svarer til deres placering i tabel 3-1.

Rampe nr. 1

Tilkørselsrampen er lokaliseret ved frakørsel nr. 72 på E45, hvor den skærende vej er Tinglev vej. Tilkørselsrampen ligger umiddelbart nord for Årtoft Plantage, og det er vurderet, at tilkørselsrampen hovedsageligt betjener trafikken fra Åbenrå, der skal syd på ad E45. Tilkørselsrampen er tilsluttet sekundærvejen via et T-kryds, med kanalisering for højresvingende fra sekundærvejen.

ÅDT samt andelen af tunge køretøjer på den gennemgående vej og tilkørselsrampen fremgår af tabel 3.2. På motorvejen og tilkørselsrampen er der konstateret en høj andel af tunge køretøjer på henholdsvis 26,2 % og 26,6 %. Dette kan have indflydelse på accelerationsadfærden. Da trafikbelastningen på tilkørselsrampen er ca. 71 køretøjer i spidstimen (30 største time), er det vurderet, at den høje lastbilandel ikke vil have stor indflydelse på accelerationsadfærden. Denne påstand er efterfølgende vurderet under målingerne.

Beregningerne af trafikbelastningen er baseret på regionaltrafik, hvor spidstimen i en retning beregnes som 7 % af ådt [Vejdirektoratet, 2004]. Dette er ligeledes anvendt under beskrivelserne af de efterfølgende ramper. Figur 3-3, 3-4 og 3-5 viser rampens udformning.



FIGUR 3-3 Set mod N før kurve



FIGUR 3-4 Set mod N efter kurve



FIGUR 3-5 Set mod syd

Rampe nr. 2

Tilkørselsrampen er lokaliseret ved frakørsel nr. 47 på E45, hvor den skærende vej er Viborgvej. Tilkørselsrampen er lokaliseret vest for Tilst ved Århus. Det er vurderet, at tilkørselsrampen betjener trafikken fra Århus NV samt oplandet NV for Århus. Endvidere er det vurderet, at tilkørselsrampen også anvendes af køretøjer der skal syd på ad E45 fra Viborg. Tilkørselsrampen er tilsluttet sekundærvejen via et 4 benet signalreguleret kryds, med separate svingbaner til tilkørselsrampen. Denne udformning kan resultere i at trafikken kører ned på tilkørselsrampen i grupper, hvilket hindrer den frie acceleration. Effekten af dette er vurderet under målingerne.

ÅDT samt andelen af tunge køretøjer for motorvejen og tilkørselsrampen fremgår af tabel 3-2. Heraf fremgår det, at andelen af tunge køretøjer på tilkørselsrampen er på 29 %, hvilket er en forholdsvis høj andel af tunge køretøjer. Sammenholdt med en trafikbelastning på 187 i spidstimen, er det vurderet, at dette kan give problemer med personbilernes frie acceleration. Dette er vurderet under målingerne. Figur 3-6, 3-7 og 3-8 viser tilkørselsrampen.



FIGUR 3-6 Set mod N før kurve



FIGUR 3-7 Set mod Ø i kurven



FIGUR 3-8 Set mod NØ syd for kurven

Rampe nr. 3

Tilkørselsrampen er lokaliseret ved frakørsel nr. 24 på E15, hvor den skærende vej er Hammelvej. Tilkørselsrampen ligger syd for Låsby, hvor motorvejen på nuværende tidspunkt overgår til hovedlandevej. Det er intentionen, at motorvejsstrækningen skal forbindes med motorvejsstrækningen vest for Silkeborg. Dette har dog på nuværende tidspunkt lange udsigter. Det er vurderet, at tilkørselsrampen betjener trafikken fra oplandet nord og syd for Låsby, samt trafikken fra Låsby. Tilkørselsrampen er tilsluttet sekundærvejen via en 5 benet rundkørsel.

ÅDT og andelen af tunge køretøjer på motorvejen og tilkørselsrampen fremgår af tabel 3-2. Heraf er det vurderet, at den forholdsvis lave trafikbelastning på motorvejen og andelen af tunge køretøjer på tilkørselsrampen, ikke giver anledning til problemer med personbilernes frie acceleration. Dog kan den lave trafikbelastning på motorvejen medføre, at trafikanten ikke føler sig nødsaget til at accelerere op til indfletningshastigheden. Dette er efterfølgende vurderet under målingerne. Tilkørselsrampens udformning fremgår af figur 3-9 og 3-10.



FIGUR 3-9 Set mod Ø



FIGUR 3-10 Set mod V

Rampe nr. 4

Tilkørselsrampen er lokaliseret ved frakørsel nr. 66 på E45, hvor den skærende vej er Frørup landevej. Tilkørselsrampen ligger vest for Christiansfeld. Det er vurderet, at tilkørselsrampen betjener trafikken fra oplandet øst og vest for Christiansfeld samt selve byen, som skal nord på ad E45 mod Kolding. Tilkørselsrampen er tilsluttet sekundærvejen via et T-kryds.

ÅDT samt andelen af tunge køretøjer på motorvejen og tilkørselsrampen fremgår af tabel 3-2. På motorvejen er andelen af tunge køretøjer 26,2 % og trafikbelastningen på tilkørselsrampen er ca. 200 køretøjer i spidstimen. Det er vurderet, at denne kombination ikke vil påvirke trafikanternes accelerationsadfærd. Tilkørselsrampens udformning fremgår af figur 3-11 og 3-12.



FIGUR 3-11 Set mod N



FIGUR 3-12 Set mod N

Rampe nr. 5

Tilkørselsrampen er lokaliseret ved frakørsel nr. 75 på E45, hvor den skærende vej er Tøndervej. Tilkørselsrampen ligger vest for Kruså og nordvest for Padborg. Dette er ikke den primære tilkørselsrampe for den tunge trafik fra Padborg Transportcenter, som skal nord på ad E45. Det er vurderet, at tilkørselsrampen betjener trafikken for oplandet vest for E45 i dette område, samt trafikken fra Bov og til dels Kruså. Tilkørselsrampen er tilsluttet sekundærvejen i et T-kryds, med kanalisering for den venstresvingende trafik.

ÅDT samt andelen af tunge køretøjer på motorvejen og tilkørselsrampen fremgår af tabel 3-2. Trafikbelastningen på motorvejen og tilkørselsrampen er angivet som skøn fra VIS databasen. Der er på tilkørselsrampen og motorvejen skønnet en forholdsvis høj andel af tunge køretøjer på henholdsvis 25 % og 21 %. På baggrund af de skønnede værdier, er det vurderet, at det ikke er parametre, som påvirker accelerationsadfærden. Dog er det vurderet, at den lave trafikbelastning på motorvejen kan resultere i, at trafikkanterne ikke accelerere op til indfletningshastigheden. Dette er efterfølgende vurderet under målingerne. Tilkørselsrampens udformning fremgår af figur 3-13 og 3-14.



FIGUR 3-13 Set mod N



FIGUR 3-14 Set mod N

Rampe nr. 6

Tilkørselsrampen er lokaliseret ved frakørsel nr. 29 på E45, hvor den skærende vej er Hobrovej. Tilkørselsrampen ligger syd for Svenstrup ved Aalborg. Det er vurderet at tilkørselsrampen betjener trafikken fra Svenstrup og oplandet øst og vest for motorvejen, som skal sydpå ad E45. Tilkørselsrampen er tilsluttet sekundærvejen via en 4 benet rundkørsel.

ÅDT samt andelen af tunge køretøjer på motorvejen og tilkørselsrampen fremgår af tabel 3-2. Ud fra trafikbelastningen på motorvejen og tilkørselsrampen samt andelen af tunge køretøjer, er det vurderet, at disse ikke vil have indflydelse på accelerationsadfærden. Tilkørselsrampens udformning fremgår af figur 3-15 og 3-16.



FIGUR 3-15 Set mod S



FIGUR 3-16 Set mod NV

Rampe nr. 7

Tilkørselsrampen er lokaliseret ved frakørsel nr. 52 på E45, hvor den skærende vej er Ryvej. Tilkørselsrampen ligger vest for Skanderborg, og det er vurderet at tilkørselsrampen betjener trafikken fra oplandet vest og øst for Skanderborg samt byerne Ry og Skanderborg. Tilkørselsrampen er tilsluttet til sekundærvejen via et 4 benet kanaliseret kryds, hvor der er anlagt svingbaner for højre og venstresvingende trafik.

ÅDT samt andelen af tunge køretøjer på motorvejen og tilkørselsrampen fremgår af tabel 3-2. Det er heraf vurderet, at den lave andel af tunge køretøjer på tilkørsels-

rampen, ikke vil påvirke accelerationsadfærden. Derimod er det vurderet, at trafikbelastningen på motorvejen, som resulterer i en belastningsgrad på ca. 62 procent baseret på idealkapaciteten, kan have indflydelse på accelerationsadfærden. Dette skyldes, at belastningsgraden kan resultere i en reduceret fremkommelighed på motorvejsstrækningen. Det er vurderet, at dette kan påvirke indfletningshastigheden, hvilket efterfølgende er vurderet under målingerne. Tilkørselsrampens udformning fremgår af figur 3-17, figur 3-18 og figur 3-19.



FIGUR 3-17 Set mod S



FIGUR 3-18 Set mod S



FIGUR 3-19 Set mod NØ fra modsatte side

Rampe nr. 8

Tilkørselsrampen er lokaliseret ved frakørsel nr. 53 på E45, hvor den skærende vej er Vroldvej. Tilkørselsrampen ligger sydvest for Skanderborg, og det er vurderet, at tilkørselsrampen betjener trafikken fra oplandet vest for motorvejen, samt området umiddelbart syd for Skanderborg. Tilkørselsrampen er tilsluttet sekundærvejen via et t-kryds med kanalisering for de højresvingende.

ÅDT samt andelen af tunge køretøjer på motorvejen og tilkørselsrampen fremgår af tabel 3-2. Trafikbelastningen svarer til den ved rampe nr. 7, og derfor er der samme problemstilling vedrørende accelerationsadfærden. Tilkørselsrampens udformning fremgår af figur 3-20.



FIGUR 3-20 Set mod N

TABEL 3-2 Trafikmængderne på motorvejen og tilkørselsramperne for de udvalgte tilkørselsramper svarende til foregående nummerering i år 2005. Kilometreringen angiver hvor på motorvejen de angivne trafikmængder forekommer.

Nr	Motorvej		Rampe		
	Kilometrering	Ådt	Køretøjer > 3,5 t	Ådt	Køretøjer > 3,5 t
1	20,2 -21,4	17.928	4.696 (26,2 %)	1.013	269 (26,6 %)
2	176,6-178,1	28.548	4.193 (14,7 %)	2.677	778 (29,0 %)
3	24,5-25,5	14.498	1.313 (9,1 %)	1.897	338 (17,8 %)
4	21,4-23,5	19.694	5.146 (26,2 %)	2.865	406 (14,2 %)
5	5,9-7,2	14.500	3.045 (21,0 %)	1.500	375 (25,0 %)
6	277,4-278,1	29.904	4.832 (16,2 %)	1.494	182 (12,2 %)
7	154,3-155,9	40.804	7.083 (17,4 %)	1.325	141 (10,6 %)
8	147,8-153,4	40.482	6.503 (16,1 %)	1.987	238 (12,0 %)

På de udpegede tilkørselsramper er der foretaget målinger med GPS logger og hastighedsmålinger, hvilket er beskrevet i de efterfølgende afsnit.

3.3 Valg af repræsentativt køretøj

Til at udføre målingerne med GPS logger på de udvalgte tilkørselsramper, er det nødvendigt at anvende et repræsentativt køretøj for den danske bilpark. Dette skyldes, at det anvendte køretøjs accelerationsevne skal svare til et gennemsnitligt køretøjs accelerationsevne, for at målingerne giver udtryk for den gennemsnitlige acceleration på de danske tilkørselsramper. I dette projekt er det valgt, at udpege et køretøj som er repræsentativt for den danske bilpark ud fra følgende parametre:

- Køretøjets cylindervolumen
- Køretøjets alder

Idet der findes ca. 40 forskellige bilmærker i den danske bilpark, er det vanskeligt at udvælge et repræsentativt køretøj for bilparken [De Danske Bilimportører, 2006]. Derfor er det vurderet, at køretøjets cylindervolumen kan være en uafhængig parameter, som kan beskrive køretøjets ydeevne. Dog kan ydeevnen også variere mærkerne imellem, men det er vurderet, at det er den eneste parameter, som kan beskrive køretøjernes ydeevne, set i forhold til hele bilparken.

Hos de Danske Bilimportører er der foretaget en forespørgsel vedrørende repræsentative cylindervolumener for den danske bilpark. Det har ikke været muligt, at få oplysninger om den gennemsnitlige cylindervolumen for hele den danske bilpark. Men det

blev oplyst, at det gennemsnitlige cylindervolumen for nyregistrerede biler i 2005 var 1650 ccm. Det blev endvidere oplyst, at det gennemsnitlige cylindervolumen for nyregistrerede køretøjer har været faldende de sidste 5 år. Desuden blev det oplyst, at følgende fire bilmodeller er de mest udbredte i den danske bilpark:

- Vw golf 1,8 (17.943)
- Vw polo 1,4 (15.385)
- Toyota corolla 1,3 i (15.139)
- Opel Astra 1,6 (8.170)

På baggrund af oplysningerne fra De Danske bilimportører er det valgt, at en personbil med en cylindervolumen på 1600 ccm til 1800 ccm vil være repræsentativt for den danske bilpark. Dette skyldes at det gennemsnitlige cylindervolumen for nyregistrerede køretøjer har været faldende de sidste 5 år og på nuværende tidspunkt er 1650 ccm.

Det er vurderet at køretøjernes alder endvidere har indflydelse på køretøjernes ydeevne, idet udviklingen i bilindustrien medfører at køretøjernes ydeevne forbedres i forhold til tidligere modeller. For at kunne udvælge et repræsentativt køretøj for den danske bilpark, er det derfor nødvendigt at kende bilparkens gennemsnitsalder, idet dette indirekte afspejler køretøjernes ydeevne. Gennemsnitsalderen for køretøjerne i den danske bilpark har ligget konstant mellem 8 og 9 år, over en tiårig periode fra 1996 til 2005 jf. tabel 3-3. En faktor som har indflydelse på bilparkens gennemsnitsalder, er registreringsafgiften, som på nuværende tidspunkt ser ud til at forblive på nuværende niveau et stykke tid ud fremtiden. Dette betyder at et køretøj med en alder på 8-9 år, vil være repræsentativt for den danske bilpark.

TABEL 3-3 Gennemsnitsalderen for køretøjer i den danske bilpark for årene fra 1996-2005 [Statistikbanken, 2006].

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Gns. Alder	8,8	8,7	8,6	8,3	8,2	8,3	8,6	8,8	9,1	9,2

Med udgangspunkt i det førnævnte er det valgt, at anvende en Opel Astra 1,6 fra 1999, som repræsentativ personbil for den danske bilpark. Bilen ses på figur 3-21. Denne har en lidt mindre cylindervolumen en nyregistrerede personbiler fra 2005, og desuden er køretøjet 2 år yngre end gennemsnitsalderen for køretøjer i den danske bilpark. Valget faldt på dette køretøj, da dette køretøj tilnærmelses svarede til de før-omtalte værdier, blandt de køretøjer der var adgang til. Det er vurderet, at det er acceptabelt at anvende dette køretøj, da det tilnærmelsesvis har samme cylindervolumen som gennemsnittet for nyregistrerede køretøjer. Da tendensen i størrelsen af cylindervolumenet er faldende og målingerne skal afklare om accelerationslængderne er tidssvarende, kan valget af mindre cylindervolumen og yngre alder end gennemsnittet forsvares. Data for det den udvalgt personbil fremgår af appendix A.



FIGUR 3-21 Køretøj udpeget og anvendt til GPS logningen

3.4 Måling med GPS logger

GPS logning er en metode, hvor køretøjets geografiske position logges hvert sekund. Dette betyder at til hvert sekund, hvor apparatet er i kontakt med minimum tre satellitter, opnås der et x og y koordinat for køretøjets geografiske position. Endvidere logges køretøjets rejsehastighed mellem hver logning samt køretøjets aktuelle kurs. Til målingerne på tilkørselsramperne er der anvendt et modul, som er monteret i personbilen med cigarettænderen som strømkilde.

Dataene som lagres i modulet er efterfølgende importeret i GIS, hvilket har muliggjort stedfæstelse af køretøjet på tilkørselsrampen, når dette opnår indfletningshastigheden. På grund af militære sikkerhedskrav er der på nuværende tidspunkt, ved brug af det pågældende udstyr kun muligt at stedfeste køretøjets position med en usikkerhed på 5 m [M-tec, 2003]. Det er dog vurderet, at denne usikkerhed ikke vil have indflydelse på målingerne, da kravet til nøjagtigheden af målingerne er vurderet til at være ± 20 m. Dette lempelige krav skyldes, at flere faktorer kan have indflydelse på lokalisering af det snit, hvor indfletningshastigheden opnås. Måden hvorpå personbilen accelereres, kan have indflydelse på stedfæstelsen. Loggermodulets unøjagtighed har desuden indflydelse på stedfæstelsen, og interpolering mellem logningerne medfører også en unøjagtighed i stedfæstelsen.

Interpolering mellem logningerne er nødvendigt, idet GPS loggeren registrerer rejsehastigheder mellem to på hinanden følgende logninger. Det betyder, at den registrerede hastighed ikke er opnået i punktet, men mellem punkterne. Dette medfører, at det er nødvendigt at interpolere mellem de to punkter, hvorimellem indfletningshastigheden er opnået. Dette er gjort for at opnå et punkt på tilkørselsrampen, hvor indfletningshastigheden er opnået. Snittet mellem to på hinanden følgende logninger, hvor indfletningshastigheden er opnået, kan beregnes ud fra formel 3-1. I formelen er der regnet med konstant acceleration mellem de to på hinanden følgende punkter. Ideelt set er accelerationen ikke konstant, men for at simplificere beregningerne er der regnet med en konstant acceleration.

$$\frac{\sqrt{(x_{v+1} - x_v)^2 + (y_{v+1} - y_v)^2} \cdot (V_{ind} - v_v)}{(v_{v+1} - v_v)} = f$$

3-1

Hvor:

 x_{v+1} er x koordinatet for punktet efter V_{ind} er opnået x_v er x koordinatet for punktet umiddelbart før V_{ind} opnås

y_{v+1}	er y koordinatet for punktet efter V_{ind} er opnået
y_v	er y koordinatet for punktet før V_{ind} opnås
v_{v+1}	er køretøjets hastighed i punktet efter V_{ind} er opnået
v_v	er køretøjets hastighed i punktet før V_{ind} opnås
V_{ind}	er indfletningshastigheden
f	er afstanden fra punktet før V_{ind} opnås til V_{ind} i køretøjets retning

På trods af unøjagtigheden, er det dog vurderet, at GPS loggeren kan give indikationer af, hvorpå tilkørselsrampen indfletningshastigheden opnås med den udvalgte personbil.

3.4.1 Resultater fra GPS logningerne.

GPS logningerne blev udført d. 21/5-2006 og d. 23/5-2006. Der er foretaget en logning på hver tilkørselsrampe, dog er der efterfølgende foretaget enkle ekstra logninger. Dette skyldes, at dataene var lokaliseret det forkerte sted ved overførelsen til GIS, hvilket sandsynligvis skyldtes manglende kontakt til satellitterne eller anden forstyrrelse. Der burde være udført flere logninger, således at accelerationen ville være ens hver gang, men dette har der ikke været ressourcer til, idet tilkørselsramperne er lokaliseret med stor indbyrdes afstand på motorvejsnettet i Jylland. For at kompensere for dette, er det vurderet, at køretøjets motor under accelerationen ikke må opnå omdrejninger > 3.500 , inden der foretages gearskifte. Det er vurderet, at dette svarer til et normalt accelerationsmønster. Hermed har det været muligt, at udføre samme acceleration på de forskellige tilkørselsramper og dermed udvise samme accelerationsadfærd.

Ved hver logning er det endvidere sikret, at køretøjet har kunnet foretage fri acceleration. Dette betyder, at der ved hver logning er sikret, at rampen har været fri for andre køretøjer, så køretøjet ikke bremses af et forankørende køretøj. Desuden er der ved hver logning registreret, om der er foretaget uhindret indfletning, hvilket kan have indflydelse på den opnåede hastighed. Ved logningerne har der ikke været tilfælde, hvor der ikke har kunnet foretages uhindret indfletning.

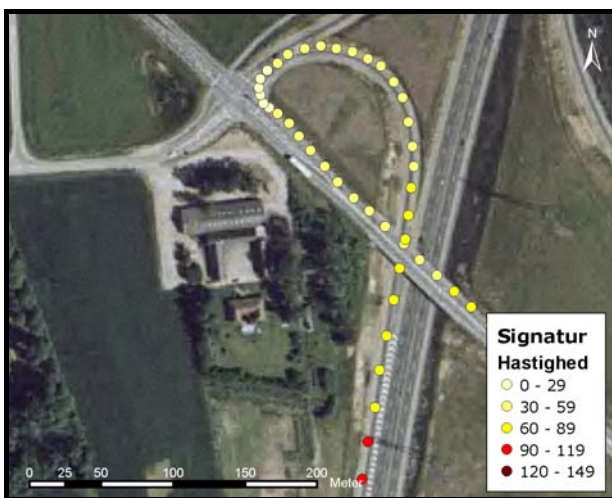
Alle data fra GPS logningerne er blevet overført til GIS. Heri er afstanden fra punktet umiddelbart før indfletningshastigheden er opnået, til tilkørselsrampens begyndelse målt. Denne længde er summeret med distancen bestemt ud fra formel 3-1, hvorved køretøjets accelerationslængder er bestemt. Figur 3-22 til 3-28 viser dataene importeret i GIS. Heraf fremgår det, hvor på tilkørselsrampen indfletningshastigheden er opnået. Det har ikke været muligt, at udarbejde et kort der viser GPS logningen på tilkørselsrampe nr. 3. Dette skyldes at der er sket væsentlige ombygninger på lokaliteten, og der er ikke fremskaffet nye luftfotos, hvoraf dette fremgår. Afstanden er målt på baggrund af andet GIS materiale, hvoraf vejmidten for det danske vejnet fremgår.



FIGUR 3-22 GPS logning for tilkørselsrampe nr. 1



FIGUR 3-25 GPS logning for tilkørselsrampe nr. 5



FIGUR 3-23 GPS logning for tilkørselsrampe nr. 2



FIGUR 3-26 GPS logning for tilkørselsrampe nr. 6



FIGUR 3-24 GPS logning for tilkørselsrampe nr. 4



FIGUR 3-27 GPS logning for tilkørselsrampe nr. 7



FIGUR 3-28 GPS logning for tilkørselsrampe nr. 8

I tabel 3.4 er forskellen mellem længden målt med GPS logger, og tilkørselsrampens længde vist. Endvidere fremgår det af tabellen, hvilke værdier der er brugt til interpoleringen mellem punktet umiddelbart før indfletningshastigheden er opnået, og punktet efter indfletningshastigheden er opnået.

TABEL 3-4 Værdier brugt til beregning af den interpolerede afstand, samt afstanden fra tilkørselsrampens begyndelse til opnået indfletningshastighed registreret med GPS, set i forhold til tilkørselsrampens faktiske længde.

Nr.	V_{v+1} [km/t]	v_v [km/t]	f [m]	Målt Længde [m]	GPS- længde [m]	Læng- de [m]	Forskel [m]	Forskel med usikkerhed [m]
1	93	89	6	372	378	581	203	183-223
2	90	88	25	344	369	565	196	176-216
3	90	88	26	273	299	600	301	281-321
4	92	89	8	277	285	508	223	203-243
5	91	89	12	248	260	389	129	109-149
6	91	88	16	458	474	727	253	233-273
7	91	89	13	329	342	509	167	147-187
8	90	88	24	227	251	410	169	149-189

Af tabel 3.4 fremgår det, at indfletningshastigheden er opnået før konvergensnittet på alle tilkørselsramper. Inkluderet usikkerheden fra GPS loggeren samt andre måleusikkerheder, er der en forskel mellem accelerationslængden målt med GPS og tilkørselsrampernes faktiske længde på mellem 109 m og 321 m. Sammenholdes tilkørselsrampernes geometriske udformning med de målte accelerationslængder fremgår det, at der er god overensstemmelse mellem den udviste accelerationsadfærd og rampens udformning. På sløjferamperne, der stort set har samme længde og gradient, er der en forskel i accelerationslængden på 9 m. Denne tendens er gentagende for accelerationslængderne på tilkørselsrampe nr. 5 og nr. 8, der tilsvarende er fuldt ud sammenlignelige. Dette indikerer, at accelerationen er foretaget under udvisning af samme accelerationsadfærd. Derfor er de målte accelerationslængder på de resterende tilkørselsramper fundet gyldige, idet det er vurderet, at der på disse tilkørselsramper er udvist samme accelerationsadfærd.

Ved de målte accelerationslængder er der en tendens til at forskellen mellem den målte accelerationslængde, og tilkørselsrampens faktiske længde er større ved stigende gradienter, dog med undtagelse af tilkørselsrampe nr. 7. Det er vurderet at denne forskel skyldes tilkørselsrampens vertikale forløb, som er stærkt stigende i begyndelsen af tilkørselsrampen, hvorefter det er faldende på sidste del af tilkørselsrampen. Dette resulterer i forskellen mellem accelerationslængden på tilkørselsrampe nr. 4 og nr. 7.

På baggrund af målingerne er det konkluderet, at resultaterne fra denne måling bekræfter hypotesen, om at nutidens køretøjer under udvisning af acceptabel accelerationsadfærd kan opnå indfletningshastigheden tidligere, end de accelerationslængder som er anbefalet i vejregelforslaget. Konklusionen er kun baseret på en måling på hver tilkørselsrampe, og kan være et udtryk for, at trafikanten udviser en aggressiv accelerationsadfærd, som ikke svarer til den accelerationsadfærd, som den gennemsnitlige trafikant ville udvise. Derfor er det valgt, at underbygge GPS logningen med målinger af snithastigheder på en udvalgt delstrækning af de udvalgte tilkørselsramper.

3.5 Måling af snithastigheder

For at afgøre om resultaterne opnået via GPS logning svarer til den gennemsnitlige accelerationsadfærd og dermed den gennemsnitlige accelerationslængde, er det valgt at udføre målinger af hastigheden i forskellige snit på de udvalgte tilkørselsramper. Det har været undersøgt, om der skulle foreligge data fra tidligere tællinger, men dette har ikke været tilfældet. I projektet har det været intentionen, at måle snithastigheder i flere snit på strækningen mellem snittet hvor det udpegede standard køretøj opnåede indfletningshastigheden og konvergenssnittet. Dette er dog revideret, idet den anvendte målemetode er ændret undervejs i projektet.

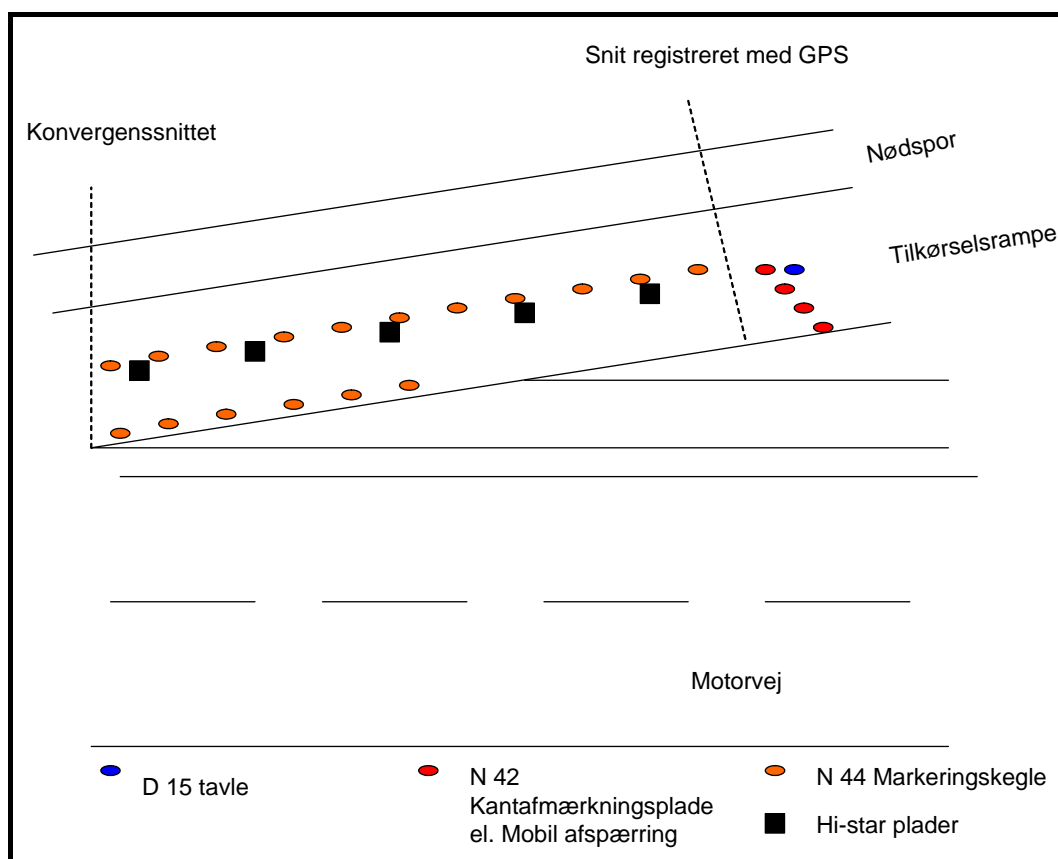
Ved projektstart var det intentionen at måle snithastighederne ved brug af Hi-star plader. Denne målemetode består af en forudprogrammeret plade, som monteres i midten af køresporet. Pladen bruger VMI (Vehicle Magnetic Imaging) til at detektere køretøjer, som passerer over pladen. Når køretøjerne passerer pladen, skaber de en ændring i jordens magnetfelt, hvilket skaber elektriske signaler i Hi-star pladen. Disse signaler bruger Hi-star pladen til genkendelse af køretøjet, og dermed registrere køretøjets hastighed og dets længde, som er forudprogrammeret i forskellige hastighedsintervaller og længdeklasser.

Hi-star pladerne muliggør registreringer over hele døgnet, hvormed der opnås et omfattende datagrundlag, som kan sammenlignes med GPS logningerne. Endvidere er det via denne metode også muligt, at registrere tunge køretøjers opnåede indfletningshastigheder. Desuden kan det klarlægges om indfletningshastigheden varierer med trafikmængden og dennes variation over døgnet.

Der er gennemført en forsøgsmåling, hvor Hi-star pladerne er udlagt på sekundærvejen i et T-kryds. Resultaterne fra denne måling viste, at målemetoden ville være anvendeligt i projektet og ville kunne bidrage med de nødvendige data. Forsøgsmålingen og resultaterne heraf fremgår af bilag B.

Imidlertid var det ikke muligt at gennemføre målingerne med Hi-star pladerne. Uden de nødvendige kurser, var det ikke muligt selv at foretage monteringen af Hi-star pladerne, dog under forudsætning af lån af afmærkningsmateriale fra Vejdirektoratet. Endvidere kræver maskinelle tællinger hvor udstyr monteres på vejen godkendelse hos den pågældende vejmyndighed [Vejdirektoratet, 2004]. En forespørgsel hos Vejdirektoratets driftsafdeling (region Nord og Midtjylland), om mulig hjælp til udførelsen af målingerne og forhåndsgodkendelse af målemetoden, resulterede i afslag. Begrundelsen var at afmærkningsopgaver (skiltning) var udliciteret til entreprenører og ville resultere i en pris på 15.000 kr. for hver enkelt måling. Endvidere var Vejdirektoratet mindre begejstret for målinger med Hi-star plader, idet motorcyklister har klaget over den risiko de udsættes for ved overkørsel af en fastmonteret plade. Dette selv om udstyret er godkendt til hastighedsmålinger, og målingerne kun var planlagt til 1 døgn

varighed. Figur 3-29 viser en skitse af den tænkte måleopstilling og den midlertidig afmærkning/skiltning anvendt under monteringen af Hi-star pladerne.



FIGUR 3-29 Principskitse af måleopstilling og afmærkning

Idet det ikke har været muligt at anvende den planlagte målemetode, er der i stedet valgt at anvende stopursmålinger samt videoregistreringer, hvilket ikke kræver godkendelse af den pågældende vejmyndighed og involvering af eksterne entreprenører til opsætning af afspærringsmateriel. Stopursmålinger er foretaget på de lokaliteter, hvor det ikke har været muligt at foretage videoregistrering. Dette forekommer, hvor videokameraet ikke har kunnet placeres over kørebanens niveau. Placeringen af videokameraet over kørebanens niveau sikrer stedfæstelse af køretøjet via kantpælene og vejafmærkningen på tilkørselsrampen.

Ved brug af denne målemetode er det af ressourcemæssige årsager fundet nødvendigt, at begrænse registreringerne til kun at omfatte køretøjstypen "personbiler", svarende til vejdirektoratets klassificering [Vejdirektoratet, 2004]. Dette skyldes den dertilhørende databehandling af videoregistreringerne, som omfatter afspilning af videoen billede for billede, for at registrere de tidspunkter hvor køretøjerne passerer et givent snit på tilkørselsrampen. Dette er en meget tidskrævende opgave, hvilket har resulteret i begrænsningen. De registrerede tidspunkter anvendes til at beregne strækningshastigheden mellem to på hinanden følgende målesnit. Desuden er det vurderet, at målinger omfattende flere køretøjskategorier ville kræve indsamling af betydelige mængder data, for at opnå tilfredsstillende trafikmængder af den pågældende køretøjskategori.

Den første intentionen ved målingerne var at registrere snithastigheder fra det snit, hvor standardkøretøjet opnåede indfletningshastigheden, til konvergenssnittet i intervaller af 50 meter. Idet målemetoden omfatter stopursmålinger og registrering med videokamera, er det vurderet, at det ikke er muligt at overskue mere end 200 meter

med det blotte øje og videokameraets perspektiv. Intervallet på 50 meter er bibeholdt i målingerne. Hertil er kantpælene samt vejafmærkningen i vejsiden, anvendt til markering af snittene. Det optimale ville være at markere snittene med midlertidig afmærkning på selve kørebanen. Uden det nødvendige kursus "Vejen som arbejdsplads", som Vejdirektoratet påkræver gennemført for at udføre arbejde på vejnettet, har dette ikke været muligt. I stedet er der anvendt tilstrækkelig tid på den efterfølgende bearbejdning af videomaterialet, til at verificere det præcise snit på kørebanen, hvor køretøjet passerer kantpælene. Dette er yderligere vanskeliggjort af den vinkel som kameraet er placeret med i forhold til tilkørselsrampen, hvilket kan resultere i en forvridding af perspektivet, som kan medføre fejl ved aflæsningen af det tidspunkt, hvor køretøjet passerer målesnittet. Risikoen for fejlaflæsning forøges, jo tættere køretøjet kommer på konvergenssnittet [Hunter et al, 1999]. For at reducere denne fejlkilde, er optagelserne projekteret op på et stort whiteboard, for bedre at kunne genfinde genkendelsesmærker i kørebanen, som svarer til målesnittet. Disse genkendelsesmærker er efterfølgende anvendt ved registreringen af tidspunkter, hvor køretøjerne passerer målesnittene.

De to målemetoder medfører, at det er strækningshastigheden og ikke snithastigheden, som registreres ved målingerne. Dette skyldes, at målingerne resulterer i tider, som et køretøj er om at tilbagelægge en distance på 50 meter. Normalt kan strækningshastigheder, målt over en strækning mindre end 40 meter, karakteriseres som snithastigheder [MAP Taylor et al, 2000]. Ud fra dette er det vurderet acceptabelt, at henføre den registrerede strækningshastighed til snittet midt mellem to tidsregistreringer. Dette medfører, at der er opnået snithastigheder fra 4 snit henholdsvis 175, 125, 75 samt 25 m før konvergenssnittet.

Ved registreringer med videokameraet, har dette været placeret på forskellige lokaliteter ved tilkørselsramperne. Placeringen har været betinget af topografien og den skærende bro placering ved tilkørselsramperne. Der er foretaget optagelser fra den skærende bro samt motorvejens skråningsanlæg. Ved placeringen af videokameraet er der taget hensyn til passage af høje køretøjer, som har spæret for registreringen af køretøjer på tilkørselsrampen. Dette har medført, at på de lokaliteter hvor der ikke er foretaget registreringer fra samme side, som tilkørselsrampen er tilsluttet, er der kun foretaget optagelser, når der ikke har passeret høje køretøjer. Dette har resulteret i længere optagelsestider, hvilket dog har været nødvendigt, idet det har været den eneste mulige lokalitet, hvor det har været muligt at foretage registreringer fra ved den pågældende tilkørselsrampe.

Målinger af snithastigheder ved de to anvendte metoder resulterer i forskellige fejlkilder, som har indflydelse på de målte hastigheder. Ved brug af stopursmetoden angiver litteraturen, at målinger af snithastigheden over en 30 m strækning kan resultere i 0,1 s. over/underestimering af den anvendte tid. Fordobles den tilbagelagte strækning halveres fejlmarginen [M A P Taylor et al, 2000]. Fejlen skyldes observatørens reaktionstid, der kan variere over observationsperioden. Denne systematiske fejl resulterer i 0,07 s over/underestimering, af den tid køretøjet anvender til at tilbagelægge strækningen på 50 m. Dette resulterer i en over/underestimering af køretøjernes hastigheder med 6,3 km/t, hvis køretøjets faktiske hastighed er 90 km/t.

Brug af videoregistrering, hvor den tid som køretøjet bruger til at tilbagelægge strækningen efterfølgende bestemmes ved afspilning af optagelserne billede for billede, resulterer også i en systematisk fejl på målingerne. Fejlen skyldes udstyrets tekniske begrænsninger mht. afspilning af antal billeder/s [M A P Taylor et al, 2000]. Det anvendte udstyr kan afspille 25 billeder/s, hvilket resulterer i en over/underestimering

på 0,04 s. Dette resulterer i en over/underestimering af køretøjernes hastigheder med 3,6 km/t ved en faktisk hastighed på 90 km/t.

Ideelt skulle der måles snithastigheder for alle køretøjer på tilkørselsramperne, for at opnå et realistisk billede af køretøjernes snithastigheder i de 4 snit. Det er vurderet, at dette vil resultere i uhensigtsmæssigt forbrug af tid og ressourcer til indsamling af data, samt den efterfølgende bearbejdning. Endvidere vil det ikke være fysisk muligt, at optage eller tage tid på alle passerede køretøjer, da køretøjerne kan passere med kort indbyrdes afstand. Det er vurderet, at 80-100 målinger vil give valide resultater. Dette er baseret på beregninger ved brug af formel 3-2. Denne er brugt til at beregne målenøjagtigheden, som er et udtryk for hvor tæt den målte gennemsnitshastighed ligger på populationens gennemsnitshastighed ved et konfidensinterval på 95 % [Hunter et al, 1999].

$$n = \left(z \cdot \frac{\sigma}{h}\right)^2$$

3-2

Hvor:

- n er antallet af målinger
- z er en parameter baseret på normalfordeling (1,96 ved 95% konfidens)
- σ er populationens standardafvigelse
- h er den besluttede målenøjagtighed

Ved beregningerne er populationens standardafvigelse ikke kendt, men der er regnet med en værdi på 15 km/t, hvilket er en konservativ værdi jf. amerikanske studier [Hunter et al, 1999]. Der er ikke fundet oplysninger omkring målinger på danske tilkørselsramper, hvilket har medført at værdien fra den amerikanske undersøgelse er anvendt. Med denne værdi og brug af formel 3-2, giver det en målenøjagtighed på 3,3 km/t ved 80 målinger og 2,9 km/t ved 100 målinger.

Ved målingerne er der kun målt snithastigheder for køretøjer, som har kunnet accelerere frit. Dette betyder, at der altid er målt snithastigheder på det forankørende køretøj i en række af køretøjer, eller de køretøjer som ikke har været hindret i deres acceleration af langsomtkørende køretøjer. Langsomtkørende køretøjer er i denne henseende køretøjer klassificeret uden for personbilskategorien jf. Vejdirektoratets klassificering [Vejdirektoratet, 2004]. Desuden er der ikke registreret snithastigheder for personbiler med påhængsvogne, campingvogne og andre registreringspligtige påhængsredskaber, da disse køretøjers hastigheder ikke må overstige 80 km/t på motorveje jf. færdselsloven [Retsinfo, 2006]. Figur 3-30 og 3-31 viser situationer, hvor den bagvedkørende trafikant ikke har mulighed for at accelererer frit og dermed udvise trafikantens reelle accelerationsadfærd.



FIGUR 3-30 Langsomtkørende køretøjer hindrer bagfrakommendes frie acceleration.



Figur 3-31 Personbil med campingvogn hindrer bagfrakommendes frie acceleration.

3.5.1 Resultater fra målingerne af snithastigheder

Målingerne med videokamera og stopur er foretaget i perioden fra d. 5/6-2006 til d. 14/6-2006. Ved den efterfølgende bearbejdning af dataene er det konstateret, at det ikke er muligt at opnå pålidelige tidsregistreringer fra målingerne ved tilkørselsrampe nr. 8 ved afkørsel nr. 53. Dette skyldes, at optagelserne ikke giver mulighed for at afgøre, hvornår køretøjet passerer måletværsnittet. Desuden har det ikke været muligt, at udføre stopursmålinger på den pågældende lokalitet, da det ikke fra noget sted langs tilkørselsrampen eller modsatte side af motorvejen har været muligt at opnå fuldt overblik over målestrækningen.

Videoregistreringen og stopursmålingerne er foregået ved, at området omkring den pågældende tilkørselsrampe er inspiceret, for at udpege et passende sted hvor hele målestrækningen har kunnet overskues. Dvs. der fra det udpegede sted har været frit udsyn til kørebaneafmærkningen samt kantpælene langs tilkørselsrampen. På det udpegede målested har begrænsningen i kameraets perspektiv desuden medført, at det ikke har været muligt at foretage registreringen fra en fastlåst position. Dette har ført til, at hvert enkelt køretøj er blevet fulgt med kameraet via en cirkulær bevægelse langs hele målestrækningen.

Registreringerne med stopur og videokamera er ikke foretaget indenfor bestemte tidsrum og tidspunkter på dagen. Dette er baseret på en afvejning af, om registreringerne skal foretages i spidstimerne af dagen eller uden for spidstimerne. Ved registrering inden for spidstimerne vil trafikbelastningen på motorvejen være høj, og kan have indflydelse på trafikanternes accelerationsadfærd på tilkørselsrampen. Desuden kan flere høje køretøjer spærre for det frie udsyn til målestrækningen i spidstimerne. Endvidere er det vurderet, at der i spidstimerne vil forekomme flere situationer, hvor den forankørende har fri acceleration, men omvendt kan denne også hindre bagfrakommendes frie acceleration. Det er vurderet, at dette kan resultere i længere registreringsperioder. Uden for spidstimerne er trafikbelastningen laverer og trafikanten kan afpasse accelerationen til det niveau, der passer denne. Dette kan dog resultere i, at trafikanten ikke udviser en gennemsnitlig accelerationsadfærd. På baggrund af de førnævnte overvejelser er det valgt at foretage registreringer på varierende tidspunkter af dagen.

Ud fra de beregnede snithastigheder målingerne resulterer i, er det vurderet muligt, at belyse trafikanternes accelerationsadfærd på de udvalgte tilkørselsramper. Heraf kan det klarlægges, om de anbefalede accelerationslængder er tidssvarende i forhold til trafikantens faktiske adfærd.

I den efterfølgende beskrivelse af måleresultaterne for hver enkelt tilkørselsrampe, er resultaterne beskrevet ved gennemsnitshastigheden, standardafvigelsen og 85 % fraktil i hvert snit. Det er vurderet, at disse statistiske værdier giver en god beskrivelse af hastighedsmålingerne i hvert enkelt snit på de pågældende tilkørselsramper. Desuden er der angivet, hvor stor en andel af køretøjerne, der har opnået indfletningshastigheden i snittet.

Det er vanskeligt at afgøre hvilke faktorer, der skal være bestemmende for hvornår indfletningshastigheden er opnået, idet dette afhænger af den adfærd som trafikanterne udviser på de forskellige tilkørselsramper. I dette projekt er det valgt, at anvende gennemsnitshastigheden som bestemmende værdi for, hvornår indfletningshastigheden opnås på den pågældende tilkørselsrampe. Dermed bliver gennemsnitshastigheden også et udtryk for den gennemsnitlige accelerationsadfærd.

Viser resultaterne at gennemsnitshastigheden overstiger 90 km/t noget sted på målestrækningen, er der interpoleret mellem snittene. Dette er gjort for at afgøre, hvor på tilkørselsrampen det må forventes, at indfletningshastigheden opnås når gennemsnitshastigheden anvendes som beskrivende faktor. Ved interpoleringen er der regnet med en konstant acceleration mellem de to snit, hvilket resulterer i en fejl. Idet afstanden mellem snittene kun er 50 meter, er denne simplificering af beregningen dog vurderet ubetydelig. Ved beregningen er måleusikkerheden tillige inddraget, hvilket resulterer i et interval hvorimellem det må forventes, at en trafikant der udviser gennemsnitlig accelerationsadfærd opnår indfletningshastigheden.

Tilkørselsrampe nr. 1 ved frakørsels nr. 72 på E45

Tilkørselsrampen er udformet som en indirekte tilkørselsrampe, og tilsluttet motorvejen hvor hastighedsbegrænsningen er 130 km/t. Ved udvælgelsen af tilkørselsrampen er der konstateret en stor andel af tunge køretøjer på motorvejen, som muligvis kunne have indflydelse på indfletningshastigheden og dermed accelerationsadfærden. Observationer foretaget på lokaliteten, sideløbende med registreringerne, har ikke indikeret, at den store andel af tunge køretøjer skulle have nævneværdig indflydelse på accelerationsadfærden.

Resultaterne fra hastighedsmålingerne fremgår af tabel 3-5. Denne tabel viser, at gennemsnitshastigheden i det målesnit som ligger 175 m fra konvergenssnittet, er højere end gennemsnitshastigheden i målesnittene henholdsvis 125 m og 75 m fra konvergenssnittet, for derefter at stige igen. Det er vurderet, at denne aftagende udvikling af gennemsnitshastigheden mellem det første og sidste målesnit kan skyldes to faktorer. For det første kan det skyldes, at trafikanten på denne strækning foretager det sidste gearskifte. Og for det andet kan det skyldes, at tilkørselsrampens længdeprofil overgår fra faldende til stigende på denne delstrækning, hvilket kan afspejle sig i accelerationsadfærden.

Af tabellen fremgår det, at indfletningshastigheden opnås før konvergenssnittet vurderet ud fra gennemsnitshastigheden. Indregnes måleusikkerheden i interpoleringen mellem de to sidste målesnit, opnås indfletningshastigheden i en afstand mellem 67 og 27 m før konvergenssnittet betragtet ud fra den gennemsnitlige accelerationsadfærd.

TABEL 3-5 Resultater fra hastighedsmålingerne på tilkørselsrampe nr. 1

	Afstand fra konvergenssnittet [m]			
	175	125	75	25
Gennemsnitshastighed [km/t]	87,2	86,9	84,9	94,0
85 % fraktil [km/t]	97,8	99,8	97,6	109,5
Standardafvigelse [km/t]	11,9	12,8	12,6	14,0
% opnået indfletningshastighed	40	40	34	64

Tilkørselsrampe nr. 2 ved frakørsel nr. 47 på E45

Tilkørselsrampen er udformet som en indirekte tilkørselsrampe og tilsluttet motorvejen, hvor der er en hastighedsbegrænsning på 110 km/t. Ved udvælgelsen af tilkørselsrampen blev der konstateret to forhold, som kunne have indvirkning på køretøjernes frie acceleration. Den signalregulerede tilslutning til sekundærvejen samt andelen af tunge køretøjer på tilkørselsrampen. Under registreringerne blev der foretaget observationer af dette, og det blev konstateret at andelen af tunge køretøjer hindrer bagfrakommende personbilers frie acceleration. Endvidere resulterer den signalregulerede tilslutning at en del køretøjer kører i grupper, hvilket også hindrer den frie acceleration. For at kompensere for dette, er registreringerne foretaget uden for spidstimerne, for at opnå registreringer af den reelle accelerationsadfærd.

Resultaterne fra hastighedsmålingerne fremgår af tabel 3-6. Af denne fremgår det, at gennemsnitshastigheden overstiger indfletningshastigheden i alle 4 målesnit. Det fremgår endvidere, at gennemsnitshastigheden er aftagende mellem de 2 sidste målesnit. Det er vurderet, at dette kan skyldes trafikanternes tilpasning af hastigheden til de "tidsgab", som måtte være i motorvejens højre kørespor, for dermed at sikre optimal indfletning, da trafikbelastningen er relativ stor på motorvejen.

Tabellen viser endvidere, at trafikanterne opnår indfletningshastigheden før konvergenssnittet. Indregnes usikkerheden i interpoleringen, er det vurderet, at ved udvisning af gennemsnitlig accelerationsadfærd opnås indfletningshastigheden minimum 160 m før konvergenssnittet på denne tilkørselsrampe.

TABEL 3-6 Resultater fra hastighedsmålingerne på tilkørselsrampe nr. 2

	Afstand fra konvergenssnittet [m]			
	175	125	75	25
Gennemsnitshastighed [km/t]	92,4	96,4	106,0	104,7
85 % fraktil [km/t]	101,4	107,1	118,4	118,4
Standardafvigelse [km/t]	11,2	12,1	12,4	15
% opnået indfletningshastighed	67	73	92	88

Tilkørselsrampe nr. 3 ved frakørsel nr. 24 på E15

Tilkørselsrampen er udformet som en direkte tilkørselsrampe og tilsluttet motorvejen på en strækning, hvor hastighedsbegrænsningen er 130 km/t. Resultaterne fra hastighedsmålingerne fremgår af tabel 3-7. Ved udvælgelsen af tilkørselsrampen blev det indikeret, at den lave trafikmængde på motorvejen kunne resultere i, at trafikanterne ikke følte sig nødsaget til at accelerere op til indfletningshastigheden, da det er vurderet muligt at flette uhindret ind på motorvejen. Resultaterne viser dog, at dette ikke er tilfældet.

På denne tilkørselsrampe viser registreringerne, at gennemsnitshastigheden udviser samme tendens, som ved målingerne på tilkørselsrampe nr. 1, hvor gennemsnitshastigheden er væsentlig større i det første og sidste målesnit. Dog er tendensen mere udtalt end ved målingerne på tilkørselsrampe nr.1. Dette tillægges tilkørselsrampens længdeprofil, som på første del af tilkørselsrampen er faldende for at opnå samme niveau som motorvejen. Herefter stiger længdeprofilet på den resterende del af tilkørselsrampen. Dette resulterer i, at køretøjerne kan opnå en høj hastighed på første delstrækning af tilkørselsrampen. For at opretholde denne hastighed kræver dette en ekstra kraftig acceleration, som ikke svarer til den accelerationsadfærd, som trafikanterne udviser. For at bekræfte dette, kan målingerne sammenholdes med tilkørselsrampens hastighedsprofil, hvilket der af ressourcemæssige årsager ikke er gjort i dette projekt.

Ud fra resultaterne er det vurderet, at køretøjerne opnår indfletningshastigheden før konvergenssnittet. Interpolering og medregning af usikkerheden har ført til den vurdering, at en trafikant der udviser gennemsnitlig accelerationsadfærd opnår indfletningshastigheden i intervallet mellem 62 og 29 m før konvergenssnittet på denne tilkørselsrampe.

TABEL 3-7 Resultater fra hastighedsmålingerne på tilkørselsrampe nr. 3

	Afstand fra konvergenssnittet [m]			
	175	125	75	25
Gennemsnitshastighed [km/t]	97,6	82,0	83,7	94,6
85 % fraktil [km/t]	114,5	91,8	94,8	107,1
Standardafvigelse [km/t]	15,6	11,6	11,6	13,5
% opnået indfletningshastighed	66	21	29	66

Tilkørselsrampe nr. 4 ved frakørsel nr. 66 på E45

Tilkørselsrampen er udformet som en i direkte tilkørselsrampe, hvor hastighedsbegrænsningen på den tilstødende motorvej er 130 km/t. Resultaterne fra hastighedsmålingerne fremgår af tabel 3-8.

Det fremgår af tabellen, at gennemsnitshastigheden overstiger indfletningshastigheden i alle målesnit. Resultaterne viser endvidere at køretøjerne opnår den højeste gennemsnitshastighed 125 m før konvergenssnittet, hvorefter gennemsnitshastigheden aftager frem mod konvergenssnittet. Det er vurderet, at denne tendens hænger sammen med udformningen af tilkørselsrampens længdeprofil. Dette er aftagende i starten af tilkørselsrampens forløb, for at overgå til stigende på sidste del af målestrekningen. Dette kan indikere, at trafikantens accelerationsadfærd matcher tilkørselsrampens hastighedsprofil.

Ved interpolering og indregning af usikkerheden er det belyst, at trafikanter der udviser en gennemsnitlig accelerationsadfærd opnår indfletningshastigheden minimum 175 m før konvergenssnittet ved denne tilkørselsrampe.

TABEL 3-8 Resultater fra hastighedsmålingerne på tilkørselsrampe nr. 4

	Afstand fra konvergenssnittet [m]			
	175	125	75	25
Gennemsnitshastighed [km/t]	96,6	107,1	102,2	98,7
85 % fraktil [km/t]	107,1	121,6	115,4	109,8
Standardafvigelse [km/t]	12,5	14,2	12,3	12,8
% opnået indfletningshastighed	75	95	90	78

Tilkørselsrampe nr. 5 ved frakørsel nr. 75 på E45

Denne tilkørselsrampe er udformet som en direkte tilkørselsrampe og tilsluttet motorvejen, hvor hastighedsbegrænsningen er 130 km/t. Resultaterne fra hastighedsmålingerne fremgår af tabel 3-9. Ved udvælgelsen af denne tilkørselsrampe blev det vurderet, at den lave trafikbelastning kunne resultere i at trafikanterne ikke accelerere op til indfletningshastigheden, da de kan flette uhindret ind på motorvejen. Hastighedsmålingerne viser, at dette ikke er tilfældet.

Det fremgår af tabellen, at gennemsnitshastigheden er højere end indfletningshastigheden i tre af de fire målesnit. Der er ikke fundet en forklaring på, hvorfor gennemsnitshastigheden er højere 125 m før konvergenssnittet end 75 m før. Interpoleres der mellem målesnittene og indregnes usikkerheden, er det vurderet at en trafikant, som udviser gennemsnitlig accelerationsadfærd, opnår indfletningshastigheden i intervallet mellem 27 og 67 m før konvergenssnittet på denne tilkørselsrampe.

TABEL 3-9 Resultater fra hastighedsmålingerne på tilkørselsrampe nr. 5

	Afstand fra konvergensnittet [m]			
	175	125	75	25
Gennemsnitshastighed [km/t]	84,4	92,5	90,6	98,3
85 % fraktil [km/t]	91,8	102,3	100,0	110,2
Standardafvigelse [km/t]	9,3	11,4	10,3	13,4
% opnået indfletningshastighed	24	61	58	80

Tilkørselsrampe nr. 6 ved frakørsel nr. 29 på E45

Denne tilkørselsrampe er udformet som en direkte tilkørselsrampe og tilsluttet motorvejen, hvor hastighedsbegrænsningen er 110 km/t. Resultaterne fra hastighedsmålingerne på tilkørselsrampen fremgår af tabel 3-10.

Tabellen viser at gennemsnitshastigheden er højere end indfletningshastigheden i hvert af målesnittene. Endvidere viser resultaterne, at gennemsnitshastigheden er stigende fra første målesnit til sidste målesnit. Desuden fremgår det også af resultaterne, at indfletningshastigheden ligger nær hastighedsbegrænsningen på motorvejen. Ud fra resultaterne er det vurderet, at trafikanter som udviser gennemsnitlig accelerationsadfærd, opnår indfletningshastigheden minimum 175 før konvergensnittet på denne tilkørselsrampe.

TABEL 3-10 Resultater fra hastighedsmålingerne på tilkørselsrampe nr. 6

	Afstand fra konvergensnittet [m]			
	175	125	75	25
Gennemsnitshastighed [km/t]	95,0	100,7	101,5	106,0
85 % fraktil [km/t]	107,3	113,2	113,2	118,4
Standardafvigelse [km/t]	13,4	11,9	13,5	13,4
% opnået indfletningshastighed	65	79	82	89

Tilkørselsrampe nr. 7 ved frakørsel nr. 52 på E45

Denne tilkørselsrampe er udformet som en direkte tilkørselsrampe og tilsluttet motorvejen, hvor hastighedsbegrænsningen er 110 km/t. Resultaterne fra hastighedsmålingerne fremgår af tabel 3-11. Ved udvælgelsen af tilkørselsramperne blev det vurderet, at trafikbelastningen på motorvejen kunne have indvirkning på accelerationsadfærden i form af kraftige udsving i accelerationen og nedbremsninger på indfletningsstrækningen. Under registreringerne er der foretaget observationer af dette, hvilket viste, at i det tidsrum hvor registreringerne fandt sted, ikke var problemer af ovenstående karakter.

Tabellen viser, at gennemsnitshastigheden overstiger indfletningshastigheden i de tre sidste målesnit. Endvidere fremgår det, at gennemsnitshastigheden stort set er stigende fra første målesnit til sidste målesnit. Interpoleres der mellem målesnittene og indregnes måleusikkerheden, viser resultaterne, at en trafikant der udviser gennemsnitlig accelerationsadfærd opnår indfletningshastigheden mellem 107 og 73 m før konvergensnittet ved den pågældende tilkørselsrampe.

TABEL 3-11 Resultater fra hastighedsmålingerne på tilkørselsrampe nr. 7

	Afstand fra konvergenssnittet [m]			
	175	125	75	25
Gennemsnitshastighed [km/t]	83,6	93,5	93,2	103,9
85 % fraktil [km/t]	94,8	104,7	104,7	113,9
Standardafvigelse [km/t]	10,9	11,4	11	12,8
% opnået indfletningshastighed	33	67	69	90

3.5.2 Generalisering af resultaterne fra målingerne på de 7 tilkørselsramper

Sammenholdes hastighedsmålingerne på de 7 tilkørselsramper er følgende generaliseres ud fra resultaterne:

- På alle tilkørselsramper er indfletningshastigheden opnået før konvergenssnittet.
- Tendens til at indfletningshastigheden er højere når hastighedsbegrænsningen er 110 km/t set i forhold til indfletningshastighederne ved 130 km/t.
- Markant højere indfletningshastighed på de tilkørselsramper hvor trafikbelastningen i spidstimen nærmer sig 50 % eller større.
- Standardafvigelsen er mindre eller lig den konservative værdi anvendt ved bestemmelsen af antallet af målinger.
- Hypotese: Accelerationsadfærden følger traceet for tilkørselsrampen.

Anvendes gennemsnitshastigheden som beskrivende faktor for, hvor på tilkørselsrampen indfletningshastighed på 90 km/t er opnået, så viser alle målingerne at indfletningshastigheden er opnået før konvergenssnittet. Dette indikerer, at accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregelforslag, ikke svarer til den accelerationsadfærd, som trafikanterne udviser.

Sammenholdes resultaterne fra de 7 tilkørselsramper udviser resultaterne tendens til, at indfletningshastigheden er højere ved tilkørselsramper, som er tilsluttet motorveje hvor hastighedsbegrænsningen er 110 km/t set i forhold til motorveje, hvor hastighedsbegrænsningen er 130 km/t. Samtidigt forekommer de høje indfletningshastigheder også ved de tilkørselsramper, hvor trafikbelastningen i spidstimen nærmer sig 50 % eller større. På den baggrund er det vurderet, at trafikbelastningen på den tilstødende motorvej har indvirkning på den accelerationsadfærd, som trafikanten udviser.

Resultaterne for tilkørselsramperne viser endvidere at standardafvigelsen svarer til, eller er mindre end den værdi, som er anvendt til bestemmelsen af antallet af nødvendige målinger. Det er antaget, at denne værdi ligger nær standardafvigelsen for alle køretøjer på de forskellige tilkørselsramper. Dette betyder, at de gennemsnitshastigheder som er bestemt i målesnittene på de forskellige tilkørselsramper, med 95 % sandsynlighed ligger inden for en usikkerhed på $\pm 3,3$ km/t af den faktiske gennemsnitshastighed på tilkørselsramperne. Dette betyder at resultaterne for målingerne ligger nær de resultater der ville opnås, hvis der blev registreret hastigheder for alle køretøjer, som accelerere frit på tilkørselsramperne. Derfor er det vurderet, at de resultater som er opnået ved målingerne, er repræsentative for den generelle accelerationsadfærd på tilkørselsramperne.

På baggrund af resultaterne er der formuleret en hypotese, som går på at den udviste accelerationsadfærd følger traceet for tilkørselsrampen. Dette er baseret på resultaterne, hvor gennemsnitshastigheden ikke har svaret til den forventede lineære udvikling i hastigheden over de fire målesnit. For at eftervise dette kan der foretages en

sammenligning af resultaterne med hastighedsprofilerne for de pågældende tilkørselsramper.

På baggrund af målingerne og resultaterne fra de enkelte tilkørselsramper, er det vurderet, at den gennemsnitlige accelerationsadfærd ikke svarer til de accelerationslængder, som er anbefalet i det danske vejregelforslag. Dermed er det konkluderet at værdierne ikke er tidssvarende.

3.6 Opsummering af resultaterne fra målingerne

I de foregående afsnit er målinger og resultater beskrevet fra to forskellige hastighedsmålinger på udvalgte tilkørselsramper på motorvejsnettet i Jylland. Tilkørselsramperne er udvalgt efter kriterier, der gør tilkørselsramperne sammenlignelige med anbefalingerne i det danske vejregelforslag. Målingerne er anvendt til at be- eller afkræfte, om værdierne anvendt i det danske vejregelforslag er tidssvarende, set i forhold til den faktiske accelerationsadfærd på tilkørselsramperne.

Det har været vanskeligt at finde metoder til belysning af trafikanternes accelerationsadfærd, idet der ikke foreligger præcise målemetoder for dette. I dette projekt er det derfor valgt, at belyse accelerationsadfærden ud fra opnåede hastigheder på tilkørselsrampen. Det er vurderet, at accelerationsadfærden er betinget af mange forskellige afhængige og uafhængige faktorer, så som: Trafikantens alder og køn, køretøjstype, omgivelserne, trafikbelastningen, medtrafikanter samt tilkørselsrampens tracé mm. Det skal derfor ikke udelukkes, at der foreligger mere avancerede beregningsmodeller baseret på fysiske og psykiske modeller, der kan belyse og bestemme trafikantens faktiske accelerationsadfærd ud fra målte værdier.

I dette projekt er det dog valgt, at sætte lighedstegn mellem accelerationsadfærden og opnåede hastigheder, betragtet ud fra gennemsnitshastigheder. Dette skyldes at accelerationsværdierne anbefalet i vejreglerne er baseret på målinger af motorkøretøjers ydeevne, hvorefter der er taget hensyn til, at trafikanten ikke må føle ubehag under kørsel ved en acceleration med de bestemte værdier. Disse er altså bestemt ud fra gennemsnitsbetragtninger, hvilket retfærdiggør anvendelsen af gennemsnitshastigheden som beskrivende faktor.

I dette projekt er der udført 2 forskellige hastighedsmålinger: Første metode omfattede registrering af det snit, hvor på tilkørselsrampen en standard personbil som er repræsentativ for den danske bilpark, opnåede indfletningshastigheden på 8 udvalgte tilkørselsramper. Dette blev foretaget ved hjælp af GPS-udstyr, som med en vis nøjagtighed kan stedfæste køretøjets position og hastighed hvert sekund. Resultaterne fra målingerne med GPS fremgår af tabel 3-12. Denne viser, at accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregelforslag ikke svarer til de accelerationslængder en standard personbil, ved acceptabel acceleration, anvender til at opnå indfletningshastigheden. Dette indikerer at accelerationsværdierne og accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregelforslag ikke er tidssvarende.

For at påvise at de værdier der blev registreret med GPS, ikke er et resultat af trafikantens aggressive accelerationsadfærd, er der foretaget yderligere registreringer af opnåede hastigheder, for de køretøjer som accelererer på de pågældende tilkørselsramper. Dette er foretaget vha. af videoregistrering og stopursmålinger af hastighederne, som køretøjerne har opnået i fire snit før konvergenssnittet. Den opnåede gennemsnitshastighed i de fire snit, har været anvendt som et udtryk for den gennemsnitlige accelerationsadfærd på de udvalgte tilkørselsramper. Gennemsnitshastigheden

er baseret på frit accelererende køretøjer, idet dette medfører den dertilhørende accelerationslængde for køretøjerne uafhængigt af medtrafikanterne.

Resultaterne fra hastighedsmålingerne er konverteret til en rampelængde, som er nødvendig for at køretøjerne opnår indfletningshastigheden, set ud fra trafikanternes faktiske accelerationsadfærd, hvilket fremgår af tabel 3-12. Resultaterne fra hastighedsmålingerne på tilkørselsramperne har vist, at køretøjerne på de udvalgte tilkørselsramper opnår indfletningshastigheden før konvergenssnittet i større eller mindre omfang. På basis af dette er det vurderet, at de anbefalede accelerationsværdier og accelerationslængder i det danske vejregelforslag ikke er tidssvarende.

TABEL 3-12 Rampelængder samt nødvendige længder for at opnå indfletningshastigheden registreret vha. GPS og videoregistrering.

Rampe nr.	Længde	GPS	Video
1	581	358-398	514-554
2	565	349-389	<405
3	600	279-319	538-571
4	508	265-305	<333
5	389	240-280	322-362
6	727	454-494	<552
7	509	322-362	402-436
8	410	221-261	

4 Konklusion

I dette projekt er der arbejdet med tidssvarende projekteringsparametre i de danske vejregler og det er forsøgt at give svar på følgende problemstilling:

Er accelerationsværdierne og accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregelforslag tidssvarende?

Dette er angrebet fra en teoretisk samt en praktisk indgangsvinkel, som er baseret på det faktum, at de nuværende værdier er udledt fra en undersøgelse udført i slutningen af 1960'erne. I første del er parametrene sammenlignet med værdier fra udvalgte udenlandske vejregler, to forskellige simuleringsprogrammer (VISSIM og aaSIDRA) samt en amerikansk undersøgelse, hvori flere forskellige beregningsmodeller er sammenlignet med køretøjernes faktiske accelerationsevne. I anden del af projektet er accelerationslængderne, anbefalet i det danske vejregelforslag, sammenlignet med den længde et repræsentativt køretøj for den danske bilpark, under udvisning af acceptabel accelerationsadfærd, bruger på at opnå indfletningshastigheden på 90 km/t på 8 forskelligt udvalgte tilkørselsramper. Disse tilkørselsramper er udvalgt efter kriterier, så de svarer til de anbefalede længder i det danske vejregelforslag. Desuden er der foretaget hastighedsmålinger på en strækning 200 meter før konvergensnittet på de udvalgte tilkørselsramper. Formålet med hastighedsmålingerne har været at belyse trafikanternes accelerationsadfærd, baseret på opnåede gennemsnitshastigheder i fire snit på tilkørselsrampen. Accelerationsadfærden er i dette projekt et udtryk for, hvor hurtigt en gennemsnitlig trafikant opnår indfletningshastigheden, beskrevet ved den længde køretøjet tilbagelægger for at opnå denne hastighed. Denne længde er sammenlignet med de anbefalede accelerationslængder fra det danske vejregelforslag, for at afgøre om værdierne er tidssvarende.

Undersøgelsen af de udenlandske vejregler, som omfatter de svenske, norske, engelske, tyske og amerikanske vejregler har vist, at den beregningsmodel som anvendes i de svenske vejregler, giver højere accelerationsværdier og dermed kortere accelerationslængder jf. tabel 4-1. De resterende vejregler var enten ikke sammenlignelige med de danske værdier, da færdselsreglerne er forskellige fra de danske mht. indfletning på motorveje. Eller så svarer værdierne til værdierne i det danske vejregelforslag.

Undersøgelsen af accelerationsværdier og accelerationslængderne hidrørende fra simuleringsprogrammerne klargjorde, at der ikke er overensstemmelse mellem parametrene anbefalet i det danske vejregelforslag og de værdier, som anvendes i de to forskellige simuleringsprogrammer. Dette viser, at der ikke er overensstemmelse mellem det, som bliver synliggjort via simuleringerne, og de værdier som anbefales at anvende ved projekteringen af tilkørselsramperne.

Den amerikanske undersøgelse har klarlagt, hvilken beregningsmodel der er bedst anvendelig til at forudsige køretøjernes accelerationsevne. Denne beregningsmodel er anvendt med danske parametre og sammenlignet med værdierne anbefalet i det danske vejregelforslag. Sammenligningen viser stor forskel mellem værdierne anbefalet i det danske vejregelforslag og beregningsmodellens værdier jf. tabel 4-1.

Endvidere er der i projektet konkluderet at beregningsmodellen fra de svenske vejregler og den amerikanske undersøgelse kan sidestilles, idet den svenske beregningsmodel er en modificeret udgave af den amerikanske beregningsmodel, som er tilpasset

svenske forhold og køretøjer. Set fra et teoretisk synspunkt er det samlet konkluderet at accelerationsværdier og accelerationslængder anbefalet i det danske vejregelforslag ikke er tidssvarende.

TABEL 4-1 Accelerationslængder for de danske og svenske vejregler samt den amerikanske beregningsmodel.

Gradien-ter [% ₀₀]	Accelerationslængder										
	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
DK	259	283	314	352	401	470	571	745	830	830	961
S	212	228	247	271	300	337	388	461	581	839	-
Rekha	171	182	193	207	222	241	262	289	322	366	425

Til målingerne er der blevet udvalgt 8 forskellige tilkørselsramper på motorvejsnettet i Jylland. Der er udvalgt 2 indirekte tilkørselsramper hvor hastighedsbegrænsningen på motorvejen er henholdsvis 110 km/t og 130 km/t. Desuden er der udvalgt 6 direkte tilkørselsramper kategoriseret efter den gennemsnitlige hældning og hastighedsbegrænsningen på motorvejen. Der er foretaget inddelinger i de forskellige kategorier, for at belyse om disse faktorer har indflydelse på accelerationsadfærden.

Den første måling er foretaget med GPS logger, for at afgøre hvor på de udvalgte tilkørselsramper et repræsentativt køretøj for den danske bilpark opnår indfletningshastigheden. Ved målingerne er der anvendt en Opel Astra fra 1999, som er fundet repræsentativt for den danske bilpark på nuværende tidspunkt. Målingerne er foretaget ved en acceptabel acceleration, bestemt ud fra motorens omdrejninger. Resultaterne har vist at det repræsentative køretøj ved den pågældende accelerationsadfærd opnår indfletningshastigheden i en betydelig afstand fra konvergensnittet jf. tabel 4-2 på alle udvalgte tilkørselsramper.

For at belyse om resultaterne fra GPS målingerne er et udtryk for, at chaufføren har udvist en aggressiv accelerationsadfærd, er der i projektet foretaget understøttende målinger af frit accelererende køretøjers opnåede hastighed i fire snit, henholdsvis 175, 125, 75 og 25 m før konvergensnittet. Dette er foretaget vha. videoregistrering og stopursmålinger.

Resultaterne fra hastighedsmålingerne fremgår af tabel 4-2. Resultaterne har vist at indfletningshastigheden, på alle tilkørselsramper hvor der er udført anvendelige målinger, er opnået før konvergensnittet, dog med varierende resultater. Det kan derfor ikke entydigt defineres, at accelerationsadfærden resulterer i en bestemt reduktion af accelerationslængderne. Ud fra målingerne er det vurderet, at accelerationsadfærden knytter sig til tilkørselsrampens udformning og hastighedsprofilerne for de pågældende ramper, hvilket kan forklare variationen i de forskellige målinger.

Med de givne forudsætninger og resultaterne fra begge målinger er det konkluderet, at den accelerationsadfærd som engang resulterede i værdierne i det danske vejregelforslag, ikke længere svarer til den accelerationsadfærd som trafikanterne udviser. Det er vurderet, at resultaterne generelt er dækkende for alle tilkørselsramper, som er projekteret efter de nuværende vejregler. Dette skyldes at der er foretaget målinger på 8 forskellige tilkørselsramper med forskellig tracering, trafikbelastning og hastighedsbegrænsning. Dog er det på grund af variationen i måleresultaterne ikke muligt ud fra målingerne at klarlægge, hvilken længde tilkørselsramperne bør have, så de svarer til den accelerationsadfærd trafikanten udviser.

TABEL 4-2 Sammenligning af tilkørselsrampernes længder med de målte accelerationslængder

Rampe nr.	Længde	GPS	Video
1	581	358-398	514-554
2	565	349-389	<405
3	600	279-319	538-571
4	508	265-305	<333
5	389	240-280	322-362
6	727	454-494	<552
7	509	322-362	402-436
8	410	221-261	

På baggrund af den teoretiske og praktiske tilgang til problemstillingen, som har resulteret i de førnævnte resultater, er det konkluderet at accelerationsværdierne og accelerationslængderne anbefalet i det danske vejregelforslag, ikke længere er tidssvarende. Resultaterne har tydeliggjort, at en indførelse af den svenske beregningsmodel modificeret efter danske forhold, kan resultere i betydelig reduktion af tilkørselsrampernes længder. Det kan derfor anbefales, at der i dansk vejregelregi arbejdes henimod en indførelse af en sådan beregningsmodel.

5 Perspektivering

I dette kapitel er der fokuseret på hvilke undersøgelser/analyser, som eventuelt kan understøtte eller afkræfte de resultater, der er afledt af dette projekt. Det er undersøgelser, som er affødt af resultaterne undervejs i projektførelsen, og som ikke er blevet belyst i dette projekt, da dette ligger uden for projektets rammer. Endvidere reflekteres der kort over, hvilke perspektiver der er for indførelsen af den svenske eller amerikanske beregningsmodel i det danske vejregelforslag.

For at be- eller afkræfte resultaterne kan der foretages lignende målinger på tilkørselsramper, som er konstateret for korte i forhold til de gældende projekteringsregler. Vejdirektoratet har i 2003 gennemført en undersøgelse af hele motorvejsnettet i forbindelse med ændringen af hastighedsgrænsen fra 110 km/t til 130 km/t på dele af motorvejsnettet. Dette omfatter også registrering af tilkørselsramper, som er for korte i forhold til gældende projekteringsregler [Fogh, 2003]. Foretages der målinger på disse tilkørselsramper, kan dette belyse, om trafikanterne opnår indfletningshastigheden inden konvergenssnittet, selv om tilkørselsrampen er for korte. Er dette tilfældet? Bekræfter det resultaterne fra denne undersøgelse.

For at understøtte og uddybe resultaterne fra dette projekt, er det foreslået, at der foretages målinger på de udvalgte tilkørselsramper med HI-star plader. Dette giver gennemsnitshastigheder for målinger foretaget over hele døgnet, og samtidigt bliver køretøjer som ikke accelererer frit inkluderet i målingerne. Dette giver et mere nuanceret billede, af den accelerationsadfærd trafikanterne udviser. Endvidere giver dette også mulighed for at belyse tunge køretøjers accelerationsevne ved forskellige tilkørselsrampers udformning. Dette vil samtidigt kunne klarlægge hastighedsforskellen mellem tunge køretøjer på motorvejen og indflettende tunge køretøjer. Det er vurderet, at jo større hastighedsforskellen er mellem køretøjerne på motorvejen og indflettende køretøjer, jo større er risikoen for, at der opstår uheld samt situationer med trængsel på motorvejen. Ved en eventuel fremtidig afkortning af de nuværende anbefalede værdier, bør dette klarlægges, for at undgå situationer, hvor hastighedsforskellen bliver for stor, og skaber u hensigtsmæssige situationer.

For at understøtte resultaterne yderligere er det foreslået, at der foretages hastighedsmålinger langs hele tilkørselsrampen på en udvalgt tilkørselsrampe. Disse kan sammenholdes med hastighedsprofilen for tilkørselsrampen, som er baseret på værdierne fra det danske vejregelforslag, for at belyse køretøjernes aktuelle accelerationssevne og trafikanternes accelerationsadfærd langs hele tilkørselsrampen.

Før en eventuel implementering af den svenske eller amerikanske beregningsmodel, er det nødvendigt med en kalibrering af modellen, så den svarer til typen af køretøjer på vejnettet, køreadfærd og vejnettets beskaffenhed. Foretages dette kan det resultere i kortere accelerationslængder på fremtidige tilkørselsramper. Dette fører til mindre ressourceforbrug og reducerer det areal, som skal eksproprieres ved kommende motorvejsbyggerier. Samtidigt medfører det også kortere afstande mellem tilslutningsanlæggene, hvilket kan lette planlægningen ved fremtidige motorvejsanlæg. Det kræver dog en del forundersøgelser, før dette kan forventes indført i det danske vejregelforslag.

Litteraturliste

[AASHTO, 2001]

American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets fourth edition*. AASHTO. ISBN: 1-56051-156-7

[Akcelik et al, 1987]

Rahmi Akcelik, D. C. Biggs, 1987. *Acceleration Profile Models for Vehicles in Road Traffic*. Transportation Science, Vol. 21, No. 1.

[Akcelik et al, 2002]

Rahmi Akcelik, Mark Besley, 2002. *Acceleration and Deceleration models*. Akcelik & Associates Pty Ltd

[Bham et al, 2002]

Ghulam H. Bham, Rahim F. Benekohal, 2002. *Development, Evaluation, and Comparison of Acceleration Models*. Pre-print CD-Rom fra 81. møde I Transportation Research Board.

[Fauser et al, 1976]

Fauser, Dr. Hiersche, Kirstein, Lüpschen, Maldfeld, Dr. Schnüll, 1976. *Richtlinien für die Anlage von Landstrassen (RAL), Teil III: Knotenpunkte (RAL-K), Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (RAL-K_2)*. Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen e. V.

[Fogh, 2003]

Søren Fogh og Per Bastholm Mathiasen, 2003. *Gennemgang af motorvejsnettet-inventering rapport nr. 273* (elektronisk version). Vejdirektoratet. ISBN: 87-7923-573-5

[Hunter et al, 1999]

Michael Hunter, Randy Machemehl og Alexei Tsyganov, 1999. *Reevaluation of ramp design speed criteria*. Research Report Number 1732-2 (elektronisk version). Center for transportation research. The University of Texas at Austin.

[M A P Taylor et al, 2000]

M A P Taylor, P W Bonsall, W Young, 2000. *Understanding Traffic Systems: Data, Analysis and Presentation Second Edition*. Asgate. ISBN: 0-7546-1248-1

[M-tec, 2003]

M-tec A/S, 2003. *GPS Logger module*. M-tec A/S

[PTV, 2004]

PTV Planung Transport Verkehr AG, 2004. *VISSIM User Manual-Version 4.00*. PTV AG

[Rekha et al, 2001]

Hesham Rekha, Ivana Lucic, Sergio Henrique Demarchi, José Reynaldo Setti og Michel Van Aerde, 2001. *Vehicle Dynamics Model for Predicting Maximum Truck Acceleration Levels*. Journal of Transportation Engineering Vol. 127(5) september/oktober (elektronisk udgave)

[Rekha et al, 2003]

Heshem Rekha, Matthew Snare, Francois Dion, 2003. *Vehicle Dynamics Model for estimating Maximum Light Duty Vehicle Acceleration Levels*. Paper fra det 83. mode I Transport Research Board.

[Rekha et al, 2004]

Hesham Rekha, Kyoungcho Ahn, 2004. *Integration Modeling Framework for Estimating Mobile Source Emissions*. Journal of Transportation Engineering Vol. 130(2), marts/april (elektronisk udgave)

[Statens vegvesen A, 2005]

Statens vegvesen, 2005. *Veg- og gateutforming, håndbok 017* (elektronisk version). Vegdirektoratet.

[Statens vegvesen B, 2005]

Statens vegvesen, 2005. *Geometrisk utforming av veg- og gatekryss, håndbok 263* (elektronisk version). Vegdirektoratet.

[Statens vegvesen C, 2005]

Statens vegvesen, 2005. *Linjeføringsteori, håndbok 265* (elektronisk version). Vegdirektoratet.

[The Highways Agency, 1997]

The Highways Agency et al, 1997. *Introduction to the Design Manual for Roads and Bridges* (elektronisk version). The Highways Agency.

[The Highways Agency, 2002]

The Highways Agency et al, 2002. *Highway Link Design* (elektronisk version). The Highways Agency.

[The Highways Agency, 2005]

The Highways Agency et al, 2005. *Cross-Sections and Headrooms* (elektronisk version). The Highways Agency.

[The Highways Agency, 2006]

The Highways Agency et al, 2006. *Layout of Grade Separated Junctions* (elektronisk version). The Highways Agency.

[Vejdirektoratet, 1970]

Vejdirektoratet, 1970. *Projekteringsregler for motorveje*. Vejdirektoratet

[Vejdirektoratet, 2004]

Tælleudvalget, 2004. *Trafiktællinger Planlægning, udførelse og efterbehandling rapport nr. 289*. Vejdirektoratet. ISBN: 87-7923-762-2 (elektronisk udgave)

[Vejregelrådet, 1999]

Vejregelrådet, 1999. *Veje og stier i åbent land Hæfte 1, Forudsætninger for den geometriske udformning*. Vejdirektoratet.

[Vejregelrådet, 2004]

Vejregelrådet, 2004. *Vej og Trafikteknisk ordbog*. Vejdirektoratet (elektronisk udgave)

[Vejregelrådet, 2005]

Vejregelrådet, 2005. *Veje og stier i åbent land Hæfte 4.4, Toplanskryds*. Vejdirektoratet.

[Vägverket A, 2004]

Vägverket, 2004. *Vägar och gators utformning, Grundvärden* (elektronisk version). Vägverket. ISSN: 1401-9612

[Vägverket B, 2004]

Vägverket, 2004. *Vägar och gators utformning, Trafikplatser* (elektronisk version). Vägverket. ISSN: 1401-9612

Internetadresser

[aaSIDRA, 2006]

aaSIDRA.com, 2006. *About aaSIDRA*. Hentet d. 17. maj 2006 fra siden <http://www.aasidra.com/>

[Citroën.dk, 2006]

Citroën Danmark, 2006. *Tekniske specifikationer & udstyr, Citroën Berlingo*. Hentet d. 19. april 2006 fra siden <http://www.citroen.dk/data/pdfs/31265.pdf>

[De Danske bilimportører, 2006]

De Danske Bilimportører, 2006. *Medlemsoversigt*. Hentet d. 8. maj 2006 fra siden <http://www.bilimp.dk/members/>

[Fahrtipps.de, 2006]

Fahrtipps.de, 2006. *StVO Strassenverkehrs-Ordnung §18 Autobahnen und Kraftfahrstrassen*. Hentet d. 26. juni fra siden: http://www.fahrtipps.de/stvo/stvo_18.php

[nu-metrics.com, 2006]

Nu-metrics, 2006. *Product Information Sheets 2005*. Hentet d. 19. april 2006 fra siden http://www.nu-metrics.com/pages/link_distribsupt.html

[Retsinfo.dk, 2006]

Retsinfo, 2006. *Bekendtgørelse af færdselsloven*. Hentet d. 26. april 2006 fra siden <http://www.retsinfo.dk/GETDOCI/ACCN/A20050107929-REGL>

[Sensitivesolutions.org, 2006]

Context Sensitive Solutions, 2006. *The AASHTO Green Book*. Hentet d. 26. juni fra siden: <http://www.contextsensitivesolutions.org/content/reading/aashto-green2/>

[Statistikbanken.dk, 2006]

Statistikbanken, 2006. *Bestand af køretøjer pr. 1. januar efter køretøjstype og alder*. Hentet d. 8. maj 2006 fra siden <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1024>

[Vegvesen.no, 2006]

Vegvesen, 2006. *Høringsoversigt*. Hentet d. 7. april 2006 fra siden <http://www.vegvesen.no/horinger/index.stm>

[Vejdirektoratet.dk, 2006]

Vejdirektoratet, 2006. *Vejregler*. Hentet d. 6. juli 2006 fra siden <http://www.vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=77390>

Bilag

Bilag A Rampeudvælgelse

Formålet med dette bilag er at tilvejebringe materiale, som kan tydeliggøre på hvilke tilkørselsramper, der skal foretages målinger. I bilaget beskrives først den anvendte metode, samt de afgrænsninger der er gjort. Herefter beskrives databearbejdningen samt beregningsforudsætningerne. Afslutningsvis udvælges de ramper, hvorpå det er mest hensigtsmæssigt at udføre målinger.

Metode

For at afgøre på hvilke ramper der skal foretages målinger, er der udført en beregning på data udtrukket fra Vejdirektoratets VIS database. Af disse data er tilkørselsrampernes gradienter, længder samt niveauforskelle fra skærende vej til konvergensnittet beregnet. Målingerne er geografisk afgrænset til at omfatte motorvejsstrækningerne i Jylland og Fyn, idet der er begrænsede ressourcer til rådighed mht. transport og dataindsamling. Det er dog vurderet, at målinger på disse strækninger vil være repræsentative i forhold til rampetyperne i Danmark. Dog betyder afgrænsningen, at der ikke udføres målinger på motorvejsstrækninger i bynære områder.

I projektet er det hensigten, at udføre registreringer på tilkørselsramper, som er projekteret efter projekteringsreglerne for motorveje fra 1970 eller efterfølgende vejregler. Dette skyldes, at formålet med målingerne er at afgøre om nuværende projekteringsparametre er tidssvarende. Derfor udføres der ikke målinger på motorvejsstrækninger fra før 1970. I VIS databasen er åbningsåret for de respektive delstrækninger udtrukket sammen med tilhørende kilometrering, hvilket fremgår af tabel 1-1. Tabellen angiver kilometreringen og åbningsår for motorvejsstrækningerne, som må forventes at være udført efter projekteringsreglerne for motorveje fra 1970 eller senere vejregler. Sammenholdes kilometreringen for strækningerne med kilometreringen for ramperne, kan det afgøres på hvilke ramper der kan foretages målinger.

Efter de danske vejregler kan tilkørselsramperne være udformet som en sløjferampe eller en direkte rampe. Efter overvejelser er det vurderet at der udføres målinger på to sløjferamper, hvor hastigheden på den gennemgående vej er henholdsvis 110 km/t og 130 km/t.

På de direkte rampe foretages der målinger på 6 forskellige ramper. Rampelængden svarer til rampelængderne, som vejreglerne anbefaler ved de respektive gradienter, og hastigheden på den gennemgående vej er henholdsvis 110 km/t og 130 km/t og følgende kriterier er opfyldt:

- 2 ramper hvor gradienten er $\geq +10 \text{ ‰}$ (positiv svarer til en stigning)
- 2 ramper hvor gradienten er $< +10 \text{ ‰}$ og $> -10 \text{ ‰}$
- 2 ramper hvor gradienten er $\leq -10 \text{ ‰}$

På basis af disse kriterier, skal der ud fra beregningerne foretaget på VIS data kunne udpeges 8 ramper, hvorpå der skal udføres registreringer.

TABEL 0-1 Åbningsår for vejstrækningerne som er udført efter projekteringsreglerne fra 1970 eller senere udgaver af vejreglerne. (Data fra VIS)

Strækning	VejID	Fra kmt	Til kmt	Åbningsår
Nyborg-Kolding	0-40-0	1360009	1480543	01-09-1980
	0-40-0	1480543	1720633	28-08-1985
Frøslev-Kolding	0-50-0	0	230530	13-06-1978
	0-50-0	260200	320143	13-06-1978
	0-50-0	320143	420389	26-06-1981
	0-50-0	420389	690765	24-09-1984
	0-50-0	690765	820681	06-11-1974
	0-50-0	820681	880701	17-12-1973
	0-50-0	900689	960118	01-07-1980
Kolding-Esbjerg	0-52-0	2290040	2470608	18-09-1998
	0-52-0	2470608	2660000	20-06-1995
	0-52-0	2660000	2840000	08-09-1997
	0-52-0	2840000	2930608	20-06-1997
Fredericia-Århus	0-60-0	890228	960428	21-06-1994
	0-60-0	980400	1110574	01-07-1980
	0-60-0	1110574	1380994	08-06-1990
	0-60-0	1380994	1510312	01-10-1980
	0-60-0	1510312	1650195	01-10-1977
	0-60-0	1650195	1820231	27-06-1994
Århus-Herning	0-66-0	80560	250465	08-11-2003
	0-66-0	650468	660360	04-11-2002
	0-66-0	660740	840010	04-11-2002
Århus-Aalborg	0-70-0	1820231	2050914	27-06-1994
	0-70-0	2150674	2300673	27-06-1993
	0-70-0	2300673	2610462	19-10-1992
	0-70-0	2610462	2780000	17-06-1992
Mariendalsmølle	0-75-0	336	10756	01-12-1978
Aalborg-Frederikshavn	0-80-0	3000512	3190750	17-10-1999
	0-80-0	3190750	3380240	07-10-2000
	0-80-0	3380240	3470637	25-10-1996
Aalborg-Hirtshals	0-90-0	10350	200580	06-10-2001
	0-90-0	200580	410000	28-09-2002
	0-90-0	410000	520225	25-10-1996
	0-90-0	520225	570666	09-10-2004
Århus-Silkeborg	0-403-0	240700	380888	01-02-2003

Databearbejdning

I VIS databasen er der udtrukket data for tilkørselsrampenes geometri, kilometring, den lokale hastighedsbegrænsning samt horisontale og vertikale fikspunkter for rampens elementer. Ud fra dette er det muligt at beregne tilkørselsrampens længde fra midt af skærende vej til konvergenssnittet, samt rampens gennemsnitlige gradient. Tilkørselsrampens længde er beregnet ud fra fikspunkterne for rampens elementer. Med udgangspunkt i fikspunktet for rampens sidste element, der angiver kilespidsens afslutning, er der fra dette punkts kilometrering fratrukket 200 m (I de danske vejregler regnes der med en afstand på 200 m fra konvergenssnittet til kilespidsens afslutning). Hermed opnås det fikspunkt, som ligger umiddelbart i nærheden af konvergenssnittet. Med udgangspunkt i kilometreringen for dette fikspunkt og kilometreringen for rampens begyndelse, kan rampelængden udregnes.

Med udgangspunkt i z værdien for fikspunktet nær konvergenssnittet, samt z værdien for fikspunktet i rampens begyndelse, kan niveauforskellen mellem rampens begyndelse og konvergenssnittet beregnes. Herefter kan den gennemsnitlige gradient for

tilkørselsrampen beregnes ud fra rampelængden og niveauforskellen. I denne beregning er der ikke taget hensyn til rampens tværfald, idet dette vil have meget lidt indflydelse på den gennemsnitlige gradient for rampen.

Endvidere er den horisontale afstand mellem fikspunktet for konvergenssnittet og fikspunktet for tilkørselsrampens begyndelse beregnet. Sammenholdes denne afstand med rampens længde, er det muligt at udtale sig om rampens geometri og hermed afgøre om rampen er en sløjferampe eller en direkte rampe. Efterfølgende er det ud fra billeder fra VIS databasen afgjort om ramperne, hvor forskellen mellem rampens længde og den horisontale længde er stor, er en sløjferampe eller en eventuel forbindelsesrampe.

For at afgøre om der skal foretages målinger på den pågældende rampe, er det nødvendigt at vide hvilken hastighed køretøjerne må formodes at køre ind på rampen med. Dette er bestemt ud fra billeder fra VIS databasen. Og her er det vurderet, at tilsluttes tilkørselsrampen til den sekundære vej via en rundkørsel, så er begyndeshastigheden 15 km/t. Er tilkørselsrampen tilsluttet direkte til den sekundære vej er begyndeshastigheden lig den skilte hastighed. Tilsluttes tilkørselsrampen den sekundære vej via et T-kryds er begyndeshastigheden lig 0 km/t. Dette er ikke reelt, idet højresvingende fra den sekundære vej ofte ikke vil starte fra 0 km/t, hvorimod venstresvingende oftere vil have en begyndeshastighed på 0 km/t. Idet de svingende trafikmængder ikke indgår i dette projekt, er det vurderet, at en begyndeshastighed på 0 km/t er repræsentativ for tilkørselsramper, der er tilsluttet den sekundære vej i et T-kryds.

Disse beregninger og værdier er bestemt for alle tilkørselsramper på motorvejene i Jylland og på Fyn og fremgår af tabel 1-2 til tabel 1-22. Der er udført beregninger for henholdsvis højre og venstre side for alle delstrækninger, hvor højre regnes i forhold til stigende kilometrering. Den horisontale skravering i enkelte celler, angiver at rampen er en sløjferampe, mens skrårskraveringen angiver at det er en forbindelsesrampe.

Der er endvidere udført beregninger på data for tilkørselsramperne fra sideanlæggene. Idet fikspunkterne for sideanlæggene angives for hele anlægget, har det ikke været muligt at stedfæste begyndelsen af tilkørselsrampen for alle sideanlæg. Stedfæstelsen af tilkørselsrampens begyndelse fra sideanlæggene er gjort på baggrund af billeder og dertilhørende kilometrering fra VIS databasen. Heri er der kun registreret billeder for 12 sideanlæg og resultaterne af beregningerne for tilkørselsramperne fra disse sideanlæg fremgår af tabel 1-23 til tabel 1-25.

TABEL 0-2 Rampedata for tilkørselsramper i højre side på strækningen fra Nyborg til Kolding.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V _{ramp}	V _{Hast}
1300432	1300815	383	-5,540	-14	381	0	110
1360923	1370586	663	-3,632	-5	660	0	110
1480546	1490047	501	-7,350	-15	500	0	130
1510881	1520320	439	-4,610	-11	437	15	110
1560023	1560432	409	-6,429	-16	394	0	110
1590296	1590703	407	-6,722	-17	401	0	110
1610299	1610830	531	-9,928	-19	515	skhast	110
1630442	1630927	485	-6,325	-13	482	0	110
1720353	1730098	745	-9,433	-13	736	skhast	110
1760378	1760957	579	3,320	6	577	0	130
1820851	1830506	655	-11,452	-17	662	0	130
1910316	1910800	484	-3,956	-8	484	0	130
1950532	1960128	596	0,001	0	588	skhast	130
2040520	2040979	459	-8,874	-19	462	0	110
2080752	2090042	290	-2,769	-10	236	skhast	110
2130887	2140175	288	-3,574	-12	292	0	110

TABEL 0-3 Rampedata for tilkørselsramper i venstre side på strækningen fra nyborg til Kolding.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V _{ramp}	V _{Hast}
1360946	1360378	568	-4,066	-7	565	0	110
1480552	1480072	480	-4,464	-9	477	0	130
1510783	1510371	412	-5,680	-14	403	15	110
1560173	1550686	487	-5,897	-12	475	0	110
1590177	1580776	401	-3,467	-9	394	0	110
1610221	1600723	498	-2,730	-5	493	0	110
1630504	1630012	492	-7,132	-14	489	0	110
1720821	1720355	466	-3,365	-7	451	0	110
1760392	1750810	582	-2,430	-4	581	0	130
1820871	1820395	476	-1,557	-3	476	0	130
1910303	1900793	510	-6,653	-13	508	0	130
1940666	1930941	725	0,000	0	703	skhast	130
2040585	2030812	773	-3,208	-4	759	0	110
2080745	2080324	421	-3,789	-9	403	skhast	110
2100598	2100241	357	2,295	6	347	0	110
2130941	2130445	496	-8,272	-17	494	15	110

TABEL 0-4 Rampedata for tilkørselsramper i højre side på strækningen fra Frøslev til Kolding.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
89	197	108	0,146	1	122	skhast	110
30676	40165	489	-1,344	-3	485	0	130
60588	60977	389	-5,806	-15	378	0	130
80163	90253	1090	0,249	0	960		130
150833	160345	512	-4,493	-9	495	0	130
200750	210190	440	-6,867	-16	435	0	130
220778	230337	559	3,391	6	535		130
300347	300888	541	-5,853	-11	507	15	130
420161	420880	719	-1,135	-2	527	0	130
510225	510842	617	-6,155	-10	613	0	130
570057	570694	637	-8,802	-14	631	0	130
640578	650086	508	1,312	3	508	0	130
760647	770102	455	-4,224	-9	439	0	110
820729	830499	770	-7,213	-9	737	15	110
850321	850857	536	-0,627	-1	527	0	110
870029	870480	451	2,527	6	449	skhast	110

TABEL 0-5 Rampedata for tilkørselsramperne i venstre side på strækningen fra Frøslev til Kolding.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
10857	10383	474	-6,065	-13	477	0	110
60540	60128	412	-5,752	-14	438	0	130
150900	150380	520	-5,302	-10	505	0	130
200967	200386	581	-4,857	-8	354	0	130
300453	290938	515	-3,641	-7	509	15	130
420399	410808	591	-1,659	-3	569	0	130
510150	500641	509	-6,660	-13	488		130
570130	560541	589	-7,533	-13	580	0	130
640479	630898	581	-13,848	-24	579	0	130
760798	760239	559	-7,052	-13	528	0	130
820850	810909	941	-5,812	-6	642	skhast	110
850458	840890	568	-0,575	-1	524	0	110
870245	860850	395	4,376	11	348	0	110

TABEL 0-6 Rampedata for tilkørselsramperne i højreside på strækningen fra Kolding til Esbjerg.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
2380148	2380662	514	-3,862	-8	505	15	130
2470575	2480068	493	-4,284	-9	487	0	130
2540622	2550116	494	-10,384	-21	496	0	130
2620493	2620985	492	-7,406	-15	483	15	130
2680376	2680856	480	-7,683	-16	477	0	130
2750591	2760101	510	-3,656	-7	507	15	130
2820908	2830420	512	-6,351	-12	510	15	130
2880555	2890180	625	-10,743	-17	621	15	110

TABEL 0-7 Rampedata for tilkørselsramperne i venstre side på strækningen fra Kolding til Esbjerg.

F Kmt	T kmt	Rampe- længde[m]	Δz [m]	Gradient [‰]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
2280463	2270930	533	6,183	12	157	skhast	110
2350057	2340488	569	-4,867	-9	520	15	130
2380076	2370560	516	-5,311	-10	502	15	130
2450756	2450145	611	0,181	0	578	15	130
2470630	2470122	508	-7,442	-15	498	15	130
2540617	2540180	437	-5,188	-12	435	0	130
2620533	2620056	477	-5,452	-11	475	0	130
2680413	2670930	483	-2,310	-5	476	15	130
2750616	2750116	500	-5,961	-12	498	0	130
2820824	2820315	509	-8,813	-17	509	15	130
2850542	2840969	573	-3,532	-6	570	0	130
2880447	2870748	699	-4,003	-6	693	15	110
2910568	2910192	376	-0,288	-1	371	15	110
2930878	2930585	293	1,534	5	277		110

TABEL 0-8 Rampedata for tilkørselsramperne i højre side på strækningen fra Fredericia til Århus.

F Kmt	T kmt	Rampe- længde[m]	Δz [m]	Gradient [‰]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
890366	890830	464	7,719	17	243	15	110
1060852	1070462	610	-16,778	-28	596	0	110
1110261	1120086	825	0,777	1	455	0	110
1140608	1150092	484	-10,496	-22	457	15	110
1210671	1220180	509	-5,400	-11	504	0	130
1290224	1290661	437	-8,393	-19	438	0	130
1340887	1350385	498	-13,667	-27	503	0	130
1380938	1390503	565	-3,631	-6	561	0	130
1460697	1470546	849	-18,081	-21	836	15	130
1520833	1530243	410	-6,131	-15	401	0	110
1550167	1550650	483	14,506	30	467	0	110
1600365	1600944	579	-0,691	-1	568	0	110
1670461	1680080	619	-4,846	-8	620	0	110
1680470	1690320	850	-29,649	-35	700	skhast	110
1720761	1730420	659	5,580	8	518	skhast	110
1770059	1770853	794	-2,859	-4	725	0	110

TABEL 0-9 Rampedata for tilkørselsramperne i venstre side på strækningen fra Fredericia til Århus.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
1060896	1060390	506	0,407	1	508	0	110
1110519	1110090	429	-4,314	-10	433	0	110
1140622	1140039	583	4,035	7	569	15	110
1210724	1210214	510	-5,855	-11	499	0	130
1290148	1280721	427	-0,950	-2	418	0	130
1340909	1340404	505	-4,602	-9	499	0	130
1390051	1380541	510	-7,827	-15	492	0	130
1460799	1460488	311	0,159	1	296		130
1540978	1540469	509	3,283	6	500	0	110
1600423	1590753	670	-20,595	-31	677	0	110
1730150	1720500	650	5,750	9	499	skhast	110
1770565	1770000	565	-7,743	-14	424	0	110
1820473	1820024	449	-17,450	-39	289	15	110

TABEL 0-10 Rampedata for tilkørselsramperne i højreside på strækningen fra Århus til Herning.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
90184	90421	237	-2,621	-11	235	15	110
100108	100515	407	-3,990	-10	186	skhast	110
130194	130820	626	-0,470	-1	625	15	130
190043	190540	497	-11,510	-23	496	0	130
720173	720740	567	-7,920	-14	563	15	130
740542	750080	538	-3,230	-6	534	0	130
770018	770560	542	-3,920	-7	525	0	130
800251	800799	548	-7,050	-13	544	0	130

TABEL 0-11 Rampedata for tilkørselsramperne i venstre side på strækningen fra Århus til Herning.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
90071	80820	251	2,950	12	251		110
110297	100920	377	-7,430	-20	186	skhast	110
130180	120421	759	-17,500	-23	759	0	130
150878	140960	918	-1,350	-1	774	15	130
190009	180580	429	-10,110	-24	426		130
250320	240720	600	8,970	15	596	15	130
720139	710579	560	-2,520	-5	557	15	130
760489	760000	489	-3,960	-8	484	0	130
800226	790740	486	-4,850	-10	484	15	130

TABEL 0-12 Rampedata for tilkørselsrampen i højre side på strækningen fra Århus til Silkeborg.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
240533	240780	247	-7,180	-29	242	0	130

TABEL 0-13 Rampedata for tilkørselsramperne i højre side på strækningen fra Århus til Aalborg.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
1820153	1820731	578	13,213	23	556	0	110
1920306	1920795	489	-11,356	-23	491	0	130
2040450	2040854	404	-6,202	-15	400	0	110
2070517	2080031	514	11,928	23	521	0	110
2130006	2130310	304	-4,297	-14	305	0	110
2150620	2160099	479	9,625	20	467	0	110
2230571	2240042	471	-6,699	-14	471	0	130
2300711	2310266	555	-15,282	-28	550	0	130
2330437	2330991	554	-8,327	-15	550	0	130
2380079	2380547	468	-1,537	-3	437	0	130
2420930	2430545	615	-6,524	-11	615	0	130
2560276	2560895	619	-9,364	-15	618	0	130
2610153	2620000	847	10,820	13	779	skhast	110
2690141	2690658	517	-6,191	-12	515	0	110
2720684	2730258	574	11,893	21	575	0	110
2770899	2780348	449	-2,906	-6	432	0	110
2880578	2890058	480	-8,971	-19	478	0	110
2890934	2900266	332	1,929	6	330	0	90
2910457	2910768	311	-10,968	-35	322	15	90
2940738	2950067	329	-3,704	-11	302	0	90

TABEL 0-14 Rampedata for tilkørselsramper i venstreside på strækningen fra Århus til Aalborg.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
1920333	1910885	448	-1,318	-3	446	0	130
2040501	2040074	427	-6,074	-14	415	0	110
2060965	2050995	970	-9,173	-9	708	skhast	110
2130040	2120738	302	-7,668	-25	299	0	110
2150740	2150213	527	-1,032	-2	523	0	110
2230598	2230113	485	-2,828	-6	482	0	130
2300644	2300209	435	0,899	2	430	0	130
2330470	2320929	541	-7,788	-14	536	0	130
2380268	2370735	533	-12,111	-23	268	0	130
2420952	2420396	556	-6,564	-12	553	0	130
2560248	2550600	648	-1,270	-2	647	0	130
2690142	2680677	465	-6,244	-13	460	0	110
2720644	2720144	500	9,218	18	495	0	110
2780100	2770373	727	17,178	24	717	15	110
2860239	2850971	268	4,273	16	264		110
2880908	2880169	739	-3,211	-4	322	0	110
2910512	2910233	279	-2,362	-8	280	15	110
2940737	2940334	403	-4,187	-10	397	0/skhast	90

TABEL 0-15 Rampedata for tilkørselsrampen i højre side ved Mariendals Mølle Indføringen.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
591	763	172	0,268	2	168	skhast	110

TABEL 0-16 Rampedata for tilkørselsrampen i venstre side ved Mariendals Mølle Indføringen.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
10815	10406	409	-14,125	-35	386	0	110

TABEL 0-17 Rampedata for tilkørselsrampen ved Kridtsvinget.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
296	521	225	-4,599	-20	221	0	70

TABEL 0-18 Rampedata for tilkørselsramperne i højre side på strækningen fra Aalborg til Frederikshavn.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
2970253	2970740	487	-4,968	-10	476	0	130
3000000	3000235	235	-3,320	-14	129	skhast	130
3030218	3030695	477	-2,923	-6	472	0	130
3060282	3060787	505	-7,283	-14	499	0	130
3130846	3140367	521	-5,560	-11	527	0	130
3190008	3190493	485	-0,346	-1	488	15	130
3270925	3280498	573	-6,743	-12	570	0	130
3380299	3380874	575	-4,907	-9	569	15	130
3460686	3470429	743	-0,007	0	740	skhast	130

TABEL 0-19 Rampedata for tilkørselsramperne i venstre side på strækningen fra Aalborg til Frederikshavn.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
2970262	2960868	394	-4,339	-11	393	0	90
3000241	2990836	405	-6,153	-15	416	0	130
3030190	3020693	497	-7,833	-16	497	15	130
3060192	3050680	512	-3,696	-7	510	0	130
3130813	3130345	468	-6,430	-14	457	0	130
3190058	3180500	558	-7,376	-13	547	0	130
3270939	3270383	556	-3,815	-7	541	15	130
3380225	3370648	577	-5,971	-10	569	0	130
3460956	3460440	516	-3,714	-7	493		130

TABEL 0-20 Rampedata for tilkørselsramperne i højre side på strækningen fra Aalborg til Hirtshals.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
10540	20039	499	0,000	0	498	0	130
70443	80103	660	-4,168	-6	660	15	130
140802	150424	622	-6,103	-10	613	15	130
200987	210520	533	-3,000	-6	530	15	130
230519	240000	481	-5,280	-11	457	15	130
330859	340400	541	-10,611	-20	535	15	130
400767	410366	599	-4,831	-8	595	0	130
440538	450216	678	-3,631	-5	658	0	130
510544	520045	501	-8,739	-17	500	0	110

TABEL 0-21 Rampedata for tilkørselsramperne i venstre side på strækningen fra Aalborg til Hirtshals.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
70440	60783	657	-7,430	-11	654	15	130
140770	140162	608	-5,510	-9	607	15	130
200865	200342	523	-7,138	-14	518	15	130
230367	220840	527	-8,741	-17	521	0	130
330863	330300	563	-4,640	-8	555	0	130
400763	400240	523	-6,520	-12	521	0	130
440782	440080	702	-4,305	-6	467	0	130
510807	510130	677	-4,194	-6	476	15	110

TABEL 0-22 Rampedata for tilkørselsramperne fra sideanlæggene i højre side på strækningen mellem Fredericia og Århus.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
1010980	1020579	599	-5,760	-10	558	0	110
1250810	1260189	379	-0,709	-2	376	0	130
1560272	1570741	1469	-19,390	-13	1449	0	110
1750550	1760040	490	0,869	2	482	0	110

TABEL 0-23 Rampedata for tilkørselsramperne fra sideanlæggene i venstre side på strækningen mellem Fredericia og Århus.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
1010950	1010420	530	-6,301	-12	525	0	110
1260199	1250800	399	0,859	2	398	0	130
1560520	1560160	360	-6,160	-17	360	0	110
1750610	1750220	390	-4,110	-11	388	0	110

TABEL 0-24 Rampedata for tilkørselsramperne fra sideanlæggene i højre side på strækningen mellem Aalborg og Frederikshavn.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
3110410	3110870	460	2,720	6	451	0	130
3410790	3420110	320	2,570	8	313	0	130

TABEL 0-25 Rampedata for tilkørselsramperne fra sideanlæggene i venstre side på strækningen mellem Aalborg og Frederikshavn.

F Kmt	T kmt	Rampe-længde[m]	Δz [m]	Gradient [%o]	Luftlinie [m]	V_{ramp}	V_{Hast}
3110070	3100700	370	-1,240	-3	361	0	130
3420100	3410800	300	-2,840	-9	300	0	130

Resultater

På motorvejsstrækningerne i Jylland og på Fyn er der registreret 218 tilkørselsramper, som mht. hastighedsbegrænsning på overordnet vej, rampelængderne samt gradienterne, fordeler sig som vist i tabel 1-26. Ramper som falder uden for projekteringskriterierne, er ikke frasorteret og endvidere er forbindelsesramper ikke frasorteret. I alt er der 89 ramper hvor hastighedsbegrænsningen er 110 km/t og 123 ramper hvor hastighedsbegrænsningen er 130 km/t.

TABEL 0-26 Antallet af ramper klassificeret i forhold til hastighedsbegrænsningen på den gennemgående vej, rampens længde samt rampens gradient. (Nummereringen af gradienterne svarer til gradientinddelingen under afsnit 0)

Hastighed	Antal ramper										
	70 km/t	90 km/t			110 km/t				130 km/t		
	Gradient	Gradient			Gradient				Gradient		
Længde	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3
100-200						2					
200-300	1				2	3	2				3
300-400		1	2	1		2	7			6	
400-500		1			3	10	16	2		19	17
500-600					5	9	5			26	30
600-700						6	2	1	1	9	4
700-800					1	4	1			4	1
800-900					1	1		1			1
900-1000						2				1	
>1000							1			1	

Ved sammenholdelse af åbningsår, længder, og gradienter samt frasortering af forbindelsesramper og ramper hvor begyndeshastigheden er den skilte hastighed, er der fundet 8 ramper, hvorpå der udføres målinger. Disse fremgår af tabel 1-27.

TABEL 0-27 Tilkørselsramper hvorpå der udføres målinger.

Type	Sted	V _{ramp} [km/t]	V _{hast} [km/t]	Gradient [‰]	Længde [m]	Kmt
Sløjfe-rampe	Frøslev-Kolding (v)	0	130	-8	581	20
	Fredericia-Århus (v)	0	110	-4	565	177
Direkte rampe	Århus-Herning (v)	15	130	+15	600	25
	Frøslev-Kolding (h)	0	130	+3	508	65
	Frøslev-Kolding (h)	0	130	-15	389	6
	Århus-Aalborg (v)	15	110	+24	727	277
	Fredericia-Århus (v)	0	110	+6	509	154
	Fredericia-Århus (h)	0	110	-15	410	153

Bilag B Afprøvning af gps logning samt målemetode

Dette bilag indeholder en gennemgang af en prøveopstilling, hvor metoden samt måleudstyret kontrolleres og valideres for at afgøre, om metoden kan anvendes til registrering af de ønskede data. I projektet ønskes der informationer om trafikanternes accelerationsadfærd på tilkørselsramper, belyst ud fra hvornår en given indfletningshastighed er opnået.

På nuværende tidspunkt har jeg via litteraturstudier ikke opnået kendskab til metoder, som kan belyse accelerationsadfærden for forskellige køretøjstyper, set i forhold til rampens geometri. Det mest indlysende ville være videoregistrering af køretøjerne på rampen, hvor markeringer på rampen, gør det muligt at beregne køretøjernes hastigheder i punkterne. Sammenholdes dette med videooptagelsernes tidsregistrering, er det muligt at beregne køretøjernes accelerationsevne [Hunter et al, 1999]. Denne registreringsmetode kræver, at perspektivet dækker over hele rampens geografiske udstrækning, hvilket begrænser brugen af denne metode til tilslutningsramper i byområder, hvor det er muligt at filme fra bygningernes tage. Ved anvendelse af mobile lifte, vil det dog også være muligt at anvende metoden i åbent land, hvilket dog anses for at være for omkostningsfuldt. Endvidere kræver denne metode også en omfattende databehandling, og anses derfor ikke for en anvendelig metode i dette projekt.

I stedet for videoregistrering er der udtænkt en metode, hvor et standard køretøj, hvori der er monteret en gps logger, gennemkører de udvalgte ramper ved acceptabel acceleration. Dette giver en indikation af, hvorpå rampen indfletningshastigheden opnås under maksimal acceleration. Herefter udlægges der et antal Histar plader, med et passende interval, på strækningen mellem det punkt hvor indfletningshastigheden er opnået og frem til konvergenssnittet. For at reducere betydningen af valg af standard bil og dennes styrke placeres der yderligere en plade før og efter den førnævnte strækning. Pladerne skal herefter registrere længde og hastighed af de passerende køretøjer. Det er intentionen, at dette vil kunne give resultater, som viser hvorpå rampen de forskellige køretøjstyper opnår indfletningshastigheden, og dermed også kunne forklare accelerationsadfærden i forhold til rampens udformning.

For at afgøre om metoden kan anvendes, er der udført forsøgsmålinger med henholdsvis gps logger og Histar plader. I de efterfølgende afsnit præsenteres først målingernes formål. Dernæst beskrives den anvendte metode og afslutningsvis præsenteres forsøgets resultater og konklusioner.

Formål

Formålet med at udføre forsøgene, er at afprøve om metoderne kan anvendes til at registrere accelerationsadfærden. I forsøget foretages der to forskellige registreringer:

- Registrering med gps hvorpå rampen en standard bil, der fuldt ud udnytter bilens accelerationsevne opnår en indfletningshastighed, der svarer til $0,8 \cdot V_0$ for den gennemgående vej på en vilkårlig valgt rampe.
- Registrering af hastigheder med Histar plader i forskellige snit på en lige vejstrækning, hvor pladerne er placeret, hvor de passerende køretøjer foretager accelerationen.

Grunden til at der foretages en registrering med gps, er at afgrænse og indkredse måleområdet på selve rampen. Formålet med forsøgsmålingen med gps logger er derfor, at afgøre om gps loggeren kan anvendes til lokalisering af hvorpå rampen indfletningshastigheden opnås.

Formålet med Histar målingerne er at klarlægge, om der kan ses en sammenhæng mellem afstanden fra accelerationsstart til målestedet og den opnåede hastighed, samt forskellen på de forskellige køretøjstypers accelerationsevne målt ud fra den opnåede hastighed. Endvidere kan forsøget med Histar pladerne også indikere, om de valgte hastighedsklasser og den indbyrdes afstand er passende værdier at anvende i registreringerne.

Metoder

Gps logning er en metode, hvor køretøjets geografiske position logges hvert sekund. Dette betyder, at til hvert sekund hvor apparatet er i kontakt med tre satellitter, opnås der et x og y koordinat for køretøjets lokalisering. Endvidere opnås køretøjets rejsehastighed mellem hver logning. Efterfølgende kan koordinaterne overføres til GIS, hvilket muliggør stedfæstelse af køretøjet på rampen, når denne opnår indfletningshastigheden. På grund af militære sikkerhedskrav er der på nuværende tidspunkt ved brug af det pågældende udstyr indbygget en stedfæstelsesusikkerhed på 5 m [M-tec, 2003]. Det er dog vurderet at denne usikkerhed ikke vil have indflydelse på målingerne, da kravet til målingernes nøjagtighed ligger inden for ± 20 m nøjagtighed. Dette lempelige krav skyldes, at flere faktorer kan have indflydelse på lokalisering af det snit hvor indfletningshastigheden opnås. Det er vurderet at følgende faktorer har indflydelse på måleunøjagtigheden:

- Bilens accelerationsevne
- Gps loggerens unøjagtighed
- Interpolering mellem registrerede koordinater

Afhængig af køretøjets alder, mærke og type, er der stor forskel på køretøjets accelerationsevne. Fra producenterne opgives ofte accelerationstid for 0-100 km/t, hvilket varierer meget fra de enkelte modeller. Dette vil afspejles i hvornår på rampen det pågældende køretøj opnår indfletningshastigheden, hvilket bidrager til usikkerheden.

GPS loggeren registrerer rejsehastigheder mellem to på hinanden følgende logninger. Det betyder at den registrerede hastighed ikke er opnået i punktet men mellem to på hinanden følgende punkter. Dette medfører, at det er nødvendigt at interpolerer mellem de to punkter, hvorimellem indfletningshastigheden er opnået, for at opnå et punkt på tilkørselsrampen, hvor indfletningshastigheden er opnået. Dette kan bidrage yderligere til usikkerheden. Snittet hvor indfletningshastigheden er opnået, kan beregnes ud fra efterfølgende formel. I formlen er der regnet med konstant acceleration mellem de to på hinanden følgende punkter. Ideelt set er accelerationen ikke konstant, men for at simplificere beregningerne, er der regnet med en konstant acceleration, hvilket vil føre til en lille unøjagtighed.

$$\frac{\sqrt{(x_{v+1} - x_v)^2 + (y_{v+1} - y_v)^2} \cdot (V_{ind} - v_v)}{(v_{v+1} - v_v)} = f$$

Hvor:

x_{v+1} er x koordinatet for punktet efter V_{ind} er opnået
 x_v er x koordinatet for punktet umiddelbart før V_{ind} opnås
 y_{v+1} er y koordinatet for punktet efter V_{ind} er opnået

y_v	er y koordinatet for punktet før V_{ind} opnås
V_{v+1}	er køretøjets hastighed i punktet efter V_{ind} er opnået
V_v	er køretøjets hastighed i punktet før V_{ind} opnås
V_{ind}	er indfletningshastigheden
f	er afstanden fra punktet før V_{ind} opnås til V_{ind} i køretøjets retning

I forsøget er gps loggeren monteret i en Citroën berlingo 1,4 (producenten oplyser en accelerationstid fra 0-100 km/t på 14,5 s) [Ctroën.dk, 2006]. Dette svarer ikke til den type standard bil, som vil blive anvendt i undersøgelsen. Valg af standard bil sker på baggrund af statistikker fra bilimportørerne. Hermed opnås en standard bil med en accelerationsevne, som svarer til størstedelen af vognparken i Danmark.

Til forsøget er tilkørselsrampen mod nord ved Gigantium ved afkørsel 26 på E45 valgt som forsøgsrampe. Rampen er udformet som en direkte skrårampe, med en længde på 674 m og et gennemsnitligt fald på 16 ‰, hvor der kan accelereres fra 0 km/t. Længden af rampen er målt fra kilespids til midt af skærende vej og oplyst via Vejdirektoratets VIS database. Den gennemsnitlige hældning er beregnet ud fra rampens længde og koteforskellen mellem kilespids og midten af den skærende vej. I forhold til accelerationslængderne der måles fra skærende vej til konvergensnittet, kan beregningen af den gennemsnitlige hældning give et misvisende billede af rampens udformning. Dette skyldes at den gennemgående vejs længdeprofil har indflydelse på rampens udformning og at kilestrækningen indregnes i rampelængden.

Hi-star (Highway Statistical Traffic Analysis Recorder) målinger er en metode til at registrere køretøjers hastigheder og længder. Målingerne foretages ved hjælp af en forudprogrammeret plade, som monteres i midten af køresporet. Pladen bruger VMI (Vehicle Magnetic Imaging) til at detektere køretøjer, som passerer over pladen. Når køretøjerne passerer pladen skaber de en ændring i jordens magnet felt, hvilket skaber elektriske signaler i Hi-star pladen. Disse signaler kan Hi-star pladen bruge til genkendelse og dermed registrere køretøjets hastighed og dets længde. Pladen registrerer endvidere vejoverfladens temperatur, samt om kørebanen er våd eller tør under registreringsfasen.

Hi-star pladen kan registrere køretøjer i 14 forud definerede hastighedsklasser og 8 længdeklasser. Tabel 1-1 og tabel 1-2 viser henholdsvis de hastighedsklasser og længdeklasser som er anvendt i forsøget. Der er anvendt et interval på 5 km/t for at præcisere målingerne. Intervallet er bestemt med udgangspunkt i fabrikantens oplysninger om usikkerheden på hastighedsmålingerne, som er angivet til $\pm 4,2\%$. Dette betyder, at hastighedsmålinger mellem 70-110 km/t vil resultere i en usikkerhed på $\pm 3-5$ km/t. Dette betyder at det ikke er muligt at registrere hastigheder med mindre hastighedsintervaller end 5 km/t når hastigheden ligger mellem 70 og 110 km/t.

Ved programmeringen af længdeklasserne sker det med spring på 0,3 m, hvilket betyder, at der ikke umiddelbart kan vælges vilkårlige længdeintervaller. Intervallerne svarer til følgende dimensionsgivende køretøjer fra vejreglerne:

- Personbil (PV)
- Distributionsbil (DB)
- Bus, lastvogn (BUS, LV)
- Påhængsvogntog, Lastvogn med kærre og sættevognstog (PVT, LVK, SVT)
- Specialkøretøj (SK) [Vejregelrådet A, 1999]

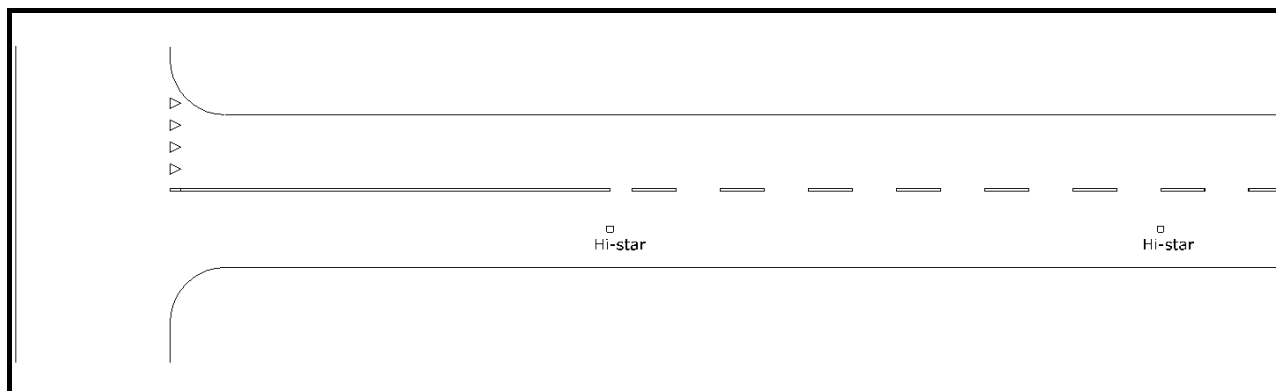
TABEL 0-1 Programmerede hastighedsklasser ved Hi-star målingerne.

Hastighedsklasser	Intervaller [km/t]
1	0-10
2	11-15
3	16-20
4	21-25
5	26-30
6	31-35
7	36-40
8	41-45
9	46-50
10	51-55
11	56-60
12	61-65
13	66-70
14	71-121

TABEL 0-2 Programmerede længdeklasser ved Hi-star målingerne.

Længdeklasser	Intervaller [m]
1	0-4,9
2	4,9-7
3	7-13,1
4	13,1-19
5	19-22

Forsøget med Hi-star pladerne er udført på en lige vej efter et T-kryds (Frederik Bajers Vej i Aalborg), hvor der er placeret 5 plader med en indbyrdes afstand på 25 m. Den første plade er placeret 20 meter fra T-krydset, for at minimere risikoen for at svingende køretøjer ikke registreres, se figur 1-1.



FIGUR 0-1 Udsnit af forsøgsopstilling på Frederik Bajers Vej i Aalborg.

Valget af interval mellem pladerne afhænger af hvilken hastighed køretøjerne formodes at passerer med. Jf. vejreglerne bruger en personbil på lige vej 126 m til at accelerere op til en hastighed på 60 km/t fra 0 km/t. Dette betyder, at i forsøget hvor hastighedsgrænsen er 50 km/t, vil den valgte opstilling være dækkende for hastighedsintervallet mellem 0 og 60 km/t. I forsøget vil det kun være holdende venstresvingende køretøjer, som vil accelerere fra en udgangshastighed på 0 km/t.

Modsat forsøget på Frederik Bajers Vej, så skal Hi-star pladerne på tilkørselsramperne detektere hastigheder i intervallet mellem 60 og 110 km/t. Dette betyder, jf. vejreglerne, at eksempelvis bruger en personbil på vandret vej 84 m på at øger hastigheden

fra 85 km/t til 90 km/t. Med et interval på 25 m kræver dette 5 plader for at registrere en forøgelse af hastigheden på 5 km/t i det førnævnte interval. Som udgangspunkt fastholdes en indbyrdes afstand på 25 m, men viser registreringerne med gps at afstanden fra V_{ind} opnås og frem til konvergenssnittet er væsentligt større end målestrekningen, så øges den indbyrdes afstand.

Det er vanskeligt at opstille et kriterium, for hvornår hovedparten af trafikanterne har opnået indfletningshastigheden. Tunge køretøjer og ældre trafikanter der ikke udnytter køretøjets fulde accelerationsevne, kan resultere i at ikke alle køretøjer opnår indfletningshastigheden inden konvergenssnittet. Endvidere kan disse køretøjer påvirke den bagvedkørende trafikants acceleration. Derfor er det vurderet, at når 80% af alle køretøjer har opnået en hastighed på $\geq V_{ind}$, så er stedet hvor V_{ind} er opnået lokaliseret. Et andet kriterium kunne være gennemsnitshastigheden.

Resultater

Forsøget med GPS loggeren blev udført den 5. april 2006. På daværende tidspunkt var hastigheden på motorvejen lokalt nedskiltet til 90 km/t hvilket betyder at indfletningshastigheden var 72 km/t. Dette har indflydelse på afstanden fra skærende vej til punktet, hvor indfletningshastigheden opnås, idet køretøjet accelererer kraftigere ved lave hastigheder og hermed opnås indfletningshastigheden i denne situation hurtigere.

På figur 1-2 er logningen importeret i GIS, og heraf fremgår det, mellem hvilke to punkter indfletningshastigheden er opnået på tilkørselsrampen. Afstanden fra skærende vej til punktet før indfletningshastigheden er opnået, beregnes ud fra koordinaterne registreret med GPS loggerne. Hertil liggendes afstanden beregnet ved brug af førnævnte formel. Tilsammen giver det med det anvendte køretøj en accelerationslængde på 138 m. I vejreglerne angives accelerationslængden for en acceleration fra 0-70 km/t med en hældning på -15 ‰ til 177 m. Set i forhold til forsøget er dette en reduktion af accelerationslængden med 39 m. Dette er en væsentlig reduktion af accelerationslængden, set i forhold til det anvendte køretøjs accelerationsevne.



FIGUR 0-2 Plottede hastigheder via gps logning på tilkørselsrampe ved Gigantium i Aalborg.

Forsøget med Hi-star pladerne blev udført tirsdag d. 11. april 2006 i tidsrummet 6.00-17.00. I dette tidsrum blev der registreret 1775 køretøjer, som passerede pladerne. Der var en registreringsforskel på 19 køretøjer mellem den første og femte plade. Der

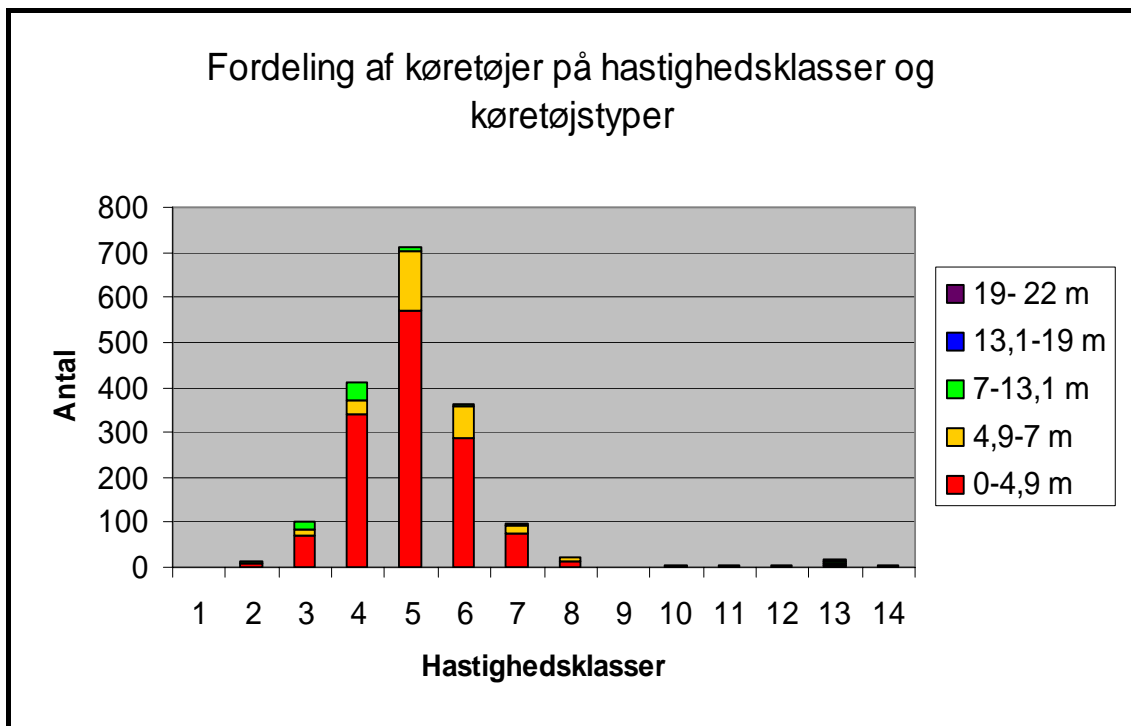
er ikke observeret nogle årsager til forskellen, men det er vurderet at forskellen ikke har indflydelse på forsøgets resultater. Af tabel 1.3 fremgår det hvorledes gennemsnitshastigheden og 85 % fraktilen for alle køretøjer varierer for de fem målinger. Tendensen i målingerne er, at gennemsnitshastigheden stiger kraftigst i starten af accelerationen, hvilket også svarer til forventningerne.

TABEL 0-3 Gennemsnitshastigheder og 85% fraktil for de 5 på hinanden følgende målinger.

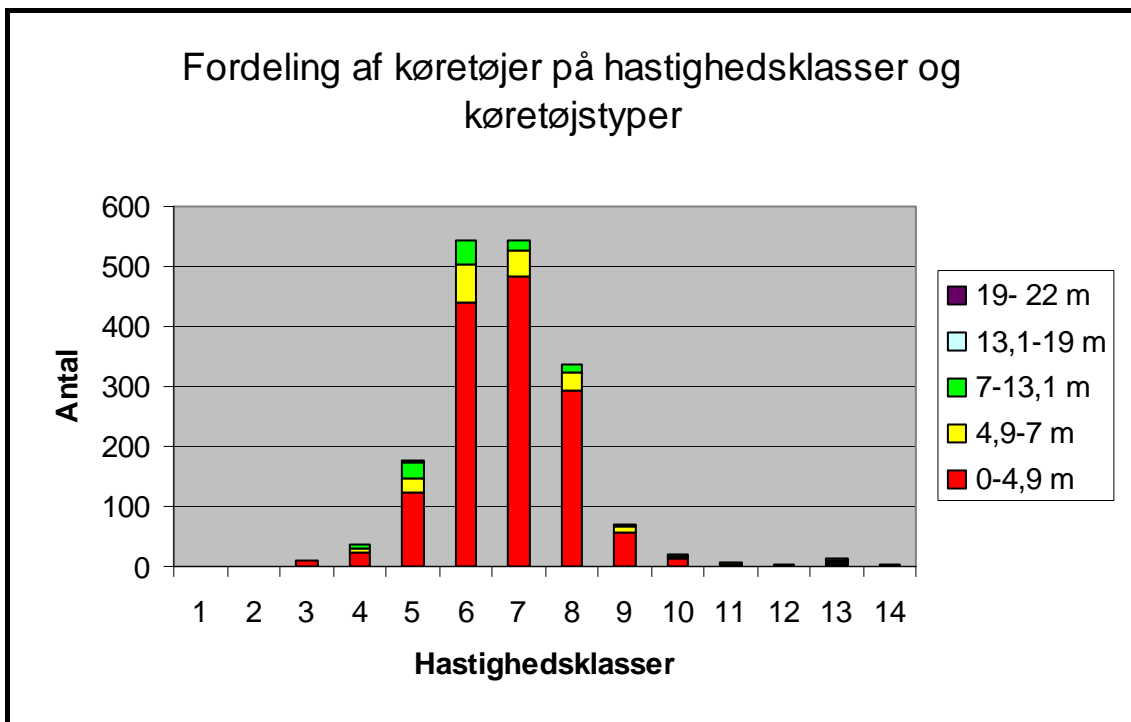
Måleplade	1	2	3	4	5
Afstand fra kryds [m]	20	45	70	95	120
Gennemsnitshastighed [km/t]	28	36	42	42	47
85% fraktil [km/t]	33	43	48	49	55

Normalt uploades data fra Hi-star pladerne til nettet, for at opnå nøgletal og grafiske fremstillinger for fordelingen af køretøjer på køretøjstyper og hastighedsklasser. Idet der ønskes en grafisk fremstilling, som viser fordelingen af køretøjstyper og hastighedsklasser i samme graf, skal data fra pladerne bearbejdes manuelt. Denne bearbejdning kan også vise, hvornår 80 % af køretøjerne har opnået en hastighed, der er $\geq V_{ind}$.

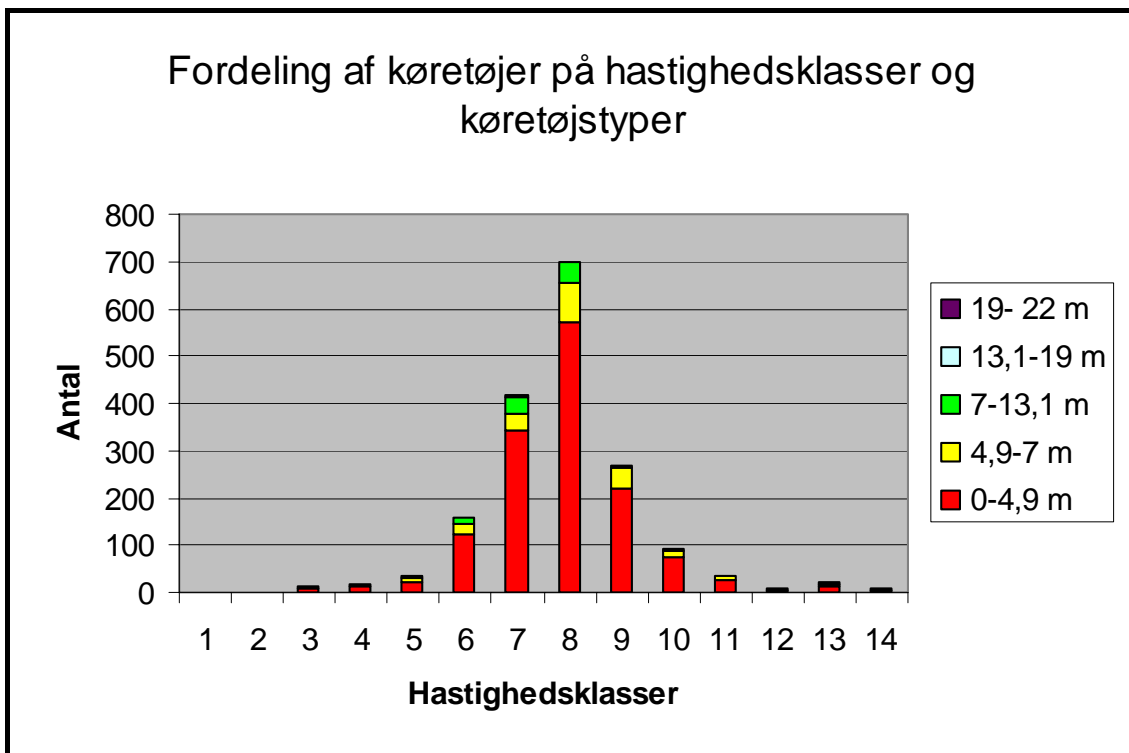
Figur 1-3 til figur 1-7 viser fordelingen af køretøjer på hastighedsklasser og køretøjstyper. Af figurerne fremgår det, at alle tællinger er normalfordelte omkring den hastighedsklasse, som også indeholder gennemsnitshastigheden. Dog er spredningen større i måling 2 og 5. Af figurerne fremgår det, at der kun er registreret få køretøjer over 13,1 meter, hvilket også svarer til forventningen om trafikens sammensætning på denne strækning. Endvidere fremgår det, at køretøjerne i længdeklasse 3 generelt accelererer langsommere end køretøjerne i længdeklasse 1 og 2. Den grafiske fremstilling kan derfor anvendes til at vise, hvorledes hastigheden udvikler sig over den målte strækning for forskellige køretøjstyper.



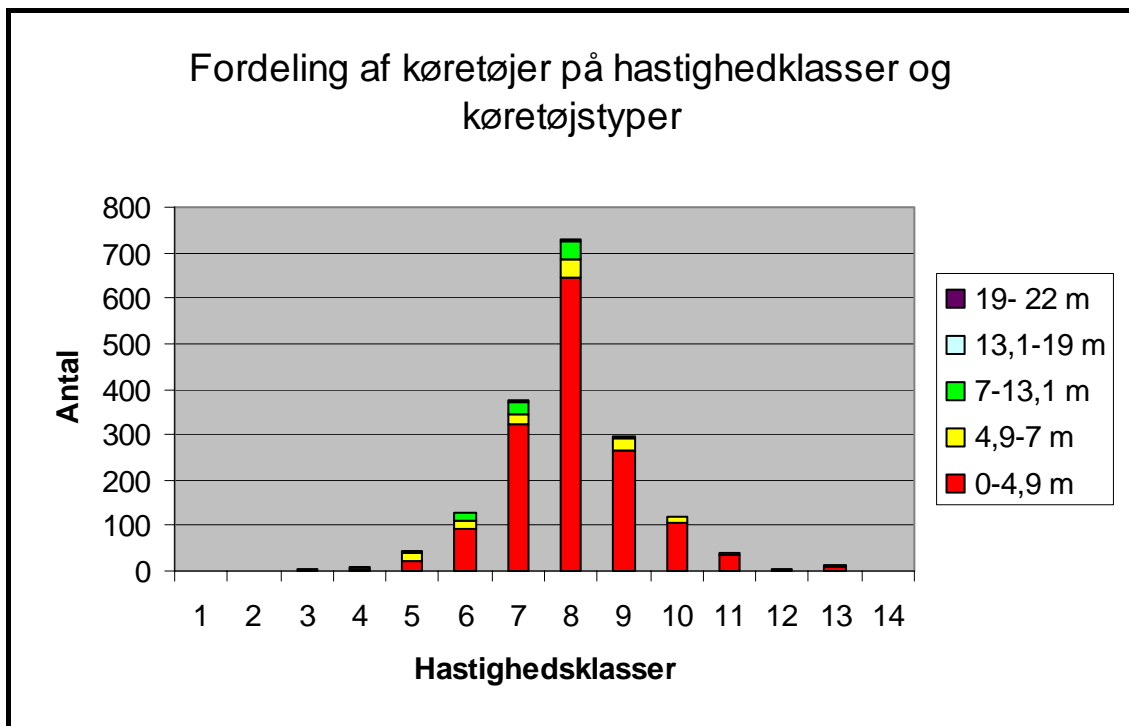
FIGUR 0-3 Fordeling af køretøjer på hastighedsklasser og køretøjstyper for måleplade 1. placeret nærmest T-krydset.



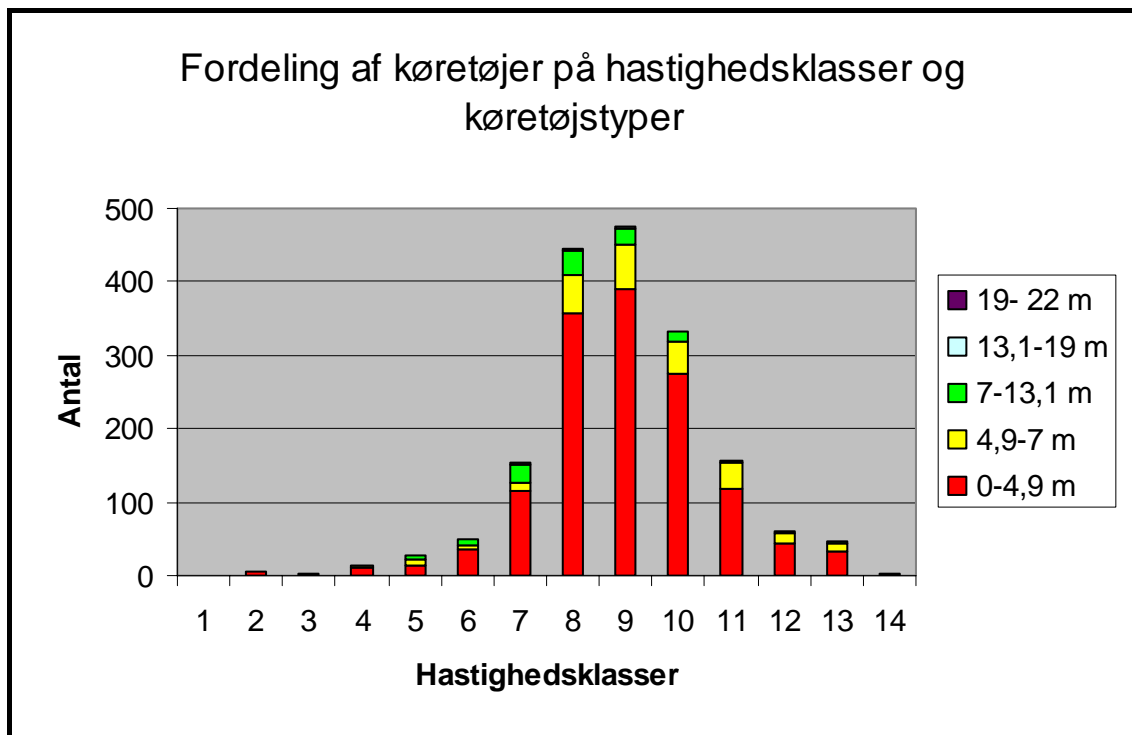
FIGUR 0-4 Fordeling af køretøjer på hastighedsklasser og køretøjstyper for måleplade 2.



FIGUR 0-5 Fordeling af køretøjer på hastighedsklasser og køretøjstyper for måleplade 3.



FIGUR 0-6 Fordeling af køretøjer på hastighedsklasser og køretøjstyper for måleplade 4.



FIGUR 0-7 Fordeling af køretøjer på hastighedsklasser og køretøjstyper for måleplade 5.

1.1. Konklusion

Mht. målinger med GPS så kan det konkluderes, at værktøjet kan bruges til at lokalisere hvor på rampen V_{ind} opnås. Idet GPS loggeren kun logger hvert sekund, kan det ikke defineres præcist hvornår hastigheden opnås. Men der er mulighed for at interpolere mellem to punkter hvor imellem indfletningshastigheden opnås. Afstanden mellem punkterne kan bestemmes ud fra koordinaterne og hastigheden angives i hvert punkt. Ud fra hastighedslogningerne hvert sekund, er det ikke muligt at bestemme accelerationen nøjagtigt mellem hvert enkelt punkt. Dette skyldes at hastigheden ikke angives med decimaler, men det kan dog give en indikation af accelerationsevnen ved forskellige hastigheder for det pågældende køretøj.

Mht. målingerne med Hi-star pladerne så kan det konkluderes, at målemetoden kan bruges til at belyse hastighedsudviklingen over en given strækning. Dette giver indirekte et udtryk for køretøjernes accelerationsevne. Endvidere kan der skelnes mellem hastighedsudviklingen for forskellige køretøjstyper. Desuden kan andelen af køretøjer, der har opnået en bestemt hastighed også bestemmes ud fra målingerne. Hermed er det muligt at afgøre om ens kriterium er opfyldt.

På baggrund af forsøgene er det på nuværende tidspunkt ikke muligt at give et bud på, hvad den indbyrdes afstand mellem pladerne skal være. I forsøget er der anvendt en afstand på 25 m, hvilket har givet brugbare resultater. Spørgsmålet er om denne afstand er tilstrækkelig ved højere hastigheder. For at minimere brugen af plader, så må GPS logningen på de pågældende ramper afgøre hvilken indbyrdes afstand pladerne skal placeres med.

Appendiks A

-tekniske data for Opel Astra

UDSTYR

MODELUDVALG	CLASSIC
Motor	
1.4 Twinport	5-dørs/Wagon
1.6 Twinport	5-dørs/Wagon
1.7 CDTI 16V	5-dørs/Wagon
Teknik	
2-kreds bremsesystem med bremseforstærker	●
5-trins sportsgearkasse	●
Fuldgalvaniseret karosseri med 12 års garanti mod gennemtæring	●
Gastrykstsøddæmpere	●
McPherson affjedring	●
Tromlebremser, bag	●
Ventilerede skivebremser, for	●
Sikkerhed	
ABS - 4-kanals bremsesystem	●
EBF - Elektronisk bremsekraftfordeling	●
EHPS - Elektrohydraulisk servostyring	●
3-punkt sikkerhedsseler, for og bag	●
Airbag og sideairbag for fører og passager	●
Aluminiumsprofiler i dørene	●
Akustisk indikation for bremseslitage	●
El-betjente, opvarmelige sidespejle, konveks i førersiden	●
Elektronisk startspærre (indbygget i nøgle)	●
Frikobling af bremse- og koblingspedal	●
Højdejusterbare forlygter, elektrisk	●
Højdejusterbare hovedstøtter for og bag (midterste nedfældelig)	●
Højtplaceret bremselys (dioder)	●
Selelåsestrammere ved forsæderne, pyrotekniske	●
Sikkerhedsrampe i forstole	●
Tågelygte, bag	●
Udetemperaturmåler med advarsel for lav temperatur	●
Komfort	
Brændstofdæksel holder	●
El-betjente sideruder i fordøre	●
Fjernbetjent centrallås	●
Forberedt for stereoradio CDR 500 med CD-afspiller, RDS og 6 højttalere	●
Forsinket slukning af kabinelys	●
Forstole med justerbart ryglæn	●
Højdejusterbart førersæde	●
Kopholder i dørene	●
Lys i handske- og bagagerum	●
Læselamper, bag	●
Make-up spejl, passagerside	●
Multijusterbart rat	●
Støvhættefjerner	●
Tonede ruder	●
Triple info display (digitalur, dato/radiofrekvens og udetemperatur)	●

	CLASSIC
Funktion	
Asymmetrisk splitbagsæde 60/40	●
Bagrude visker/vasker med interval	●
Bagagerumsdækken (Wagon)	●
Elektronisk speedometer med digitaltriptæller	●
Gennemsigtige halogen forlygter, H7	●
Handskerum med klap	●
Lommer i for- og bagdøre	●
Nedfældeligt midterarm læn med skilem	●
Omdrejningstæller	●
Reservehjul i fuld størrelse	●
Serviceindikator (advarsel for lav benzinstand)	●
Summer for tændte forlygter	●
Tagrælinger (Wagon)	●
To baklygter	●
Design	
3-eget læderrat	●
Bagklaphåndtag, indfarvet	●
Hvide blinklygteglas	●
Håndtag, indvendige, krom	●
Håndtag, udvendige, sorte	●
Instrumenter, sorte	●
Sidebeskyttelseslister, sorte	●
Sidepaneler	●
Sidespejle, indfarvede	●
Tagantenne	●
Indtræk	Piazza/Sort

TEKNISKE DATA

Motorer	1.4 Twinport	1.6 Twinport	1.7 CDTI 16V
Boring, mm	73,4	79,0	79,0
Cylinderantal	4	4	4
Slaglængde, mm	80,6	81,5	86,0
Cylindervolumen, cm ³	1.364	1.598	1.686
Max. ydelse DIN hk/kW ved omdr. min.	90/66 6.000	103/76 6.000	80/59 4.400
Max. drejningsmoment DIN kpm/Nm ved omdr. min.	125 4.000	147 3.000	170 1.800-2.800
Kompressionsforhold	10,5:1	10,5:1	18,4:1
Tophastighed, km/t., 5-dørs/Wagon	178/178	188/183	173/168
Acceleration, 0-100 km/t., sek., 5-dørs/Wagon	13,7/13,7	11,5/12,0	14,5/15,0

	1.4 Twinport	1.6 Twinport	1.7 CDTI 16V
Forbrugstal/CO₂-udslip¹⁾			
Classic 5-dørs	16,7/144	15,2/158	21,7/124
Classic Wagon	16,4/146	14,9/160	20,4/132
Oktantal (blyfri benzin)	95	95	Diesel
Batteri	12V/44 Ah	12V/44 Ah	12V/70 Ah
Oliekapacitet med filter, liter	3,5	3,5	3,5
Tankkapacitet, liter	52	52	52
Dæk			
5-dørs	195/60R15-88H	195/65R15-88H	195/60R15-88H
Wagon	195/60R15-88H	195/60R15-88H	195/60R15-88H
Fælg			
5-dørs	Stål 6J x 15	Stål 6J x 15	Stål 6J x 15
Wagon	Stål 6J x 15	Stål 6J x 15	Stål 6J x 15
Anhængervægt			
Max. tilladte påhængsvægt m./u. bremses ²⁾ – 5-dørs	900/550	1.150/575	1.150/600
Max. tilladte påhængsvægt m./u. bremses ²⁾ – Wagon	850/550	1.100/575	1.100/600

¹⁾ De opgivne forbrugstal er baseret på oplysninger gældende på udstedelsesdatoen for biler med standardudstyr.

²⁾ Vægten er baseret på karrosserivarianten med størst trækraft.

MÅL OG VÆGT

	5-dørs	Wagon
Akselafstand, mm	2.606	2.611
Bagagerumskapacitet, liter (VDA)*	370/1.180	480/1.500
Bagagerummets bredde ved gulv, mm	1.100	1.107
Bagagerummets højde, mm	810	886
Bagagerummets længde ved gulv, uden og med nedfældet bagsæder, mm	834/1.548	1.042/1.668
Benplads bag, mm (min.)	903	873
Benplads for, mm	1044	1.044
Bredde i skulderhøjde bag, mm	1.316-1.314	1.318
Bredde i skulderhøjde for, mm	1.340-1.342	1.340
Egenvægt, kg (afhængig af model/motor/gearkasse kombination), fra	1.050	1.075
Loftshøjde bag, mm	969	1.058
Loftshøjde for, mm	980	1.110
Sporvidde bag, mm	1.460/1.472	1.467
Sporvidde for, mm	1.484	1.484
Største bredde (med sidespejle), mm	1.967	1.967
Største højde, mm	1.425	1.465
Største længde, mm	4.110	4.288
Vendediameter, m	10,3	10,3

* med bageste ryglæn henholdsvis opslået eller nedfældet.