VTI rapport 890

Nya restidsfunktioner med korsningsfördröjning

Johan Olstam

Leonid Engelson

Lars Johansson

Clas Rydergren

vti

Diarienummer: 2014/0390-7.1
Omslagsbilder:
Tryck: LiU-Tryck, Linköping 2016

Referat

Denna rapport presenteras metod och resultat för framtagning av nya restidsfunktioner till trafikprognosverktyget Sampers. Restidsfunktioner innehåller en del som beskriver fördröjning på vägen och en del som beskriver fördröjningen i samband med korsningar. Då det är svårt och dyrt att göra samtidiga mätningar av trafikflöden och restider har en alternativ ansats används där restidsfunktionerna kalibrerats baserat på beräkningar av korsningsfördröjning för olika korsningsutformningar med korsningsmodellen Capcal. De framtagna restidsfunktioner har testats och validerats och är nu implementerade i Samperssystemet.

Titel:	Nya restidsfunktioner med korsningsfördröjning
Författare:	Johan Olstam (VTI, www.orcid.org/0000-0002-0336-6943) Leonid Engelson (Trafikverket, www.orcid.org/0000-0002-4531-8659) Lars Johansson (Trafikverket) Clas Rydergren (Linköpings universitet, www.orcid.org/0000-0001-6405-5914)
Utgivare:	VTI, Statens väg och transportforskningsinstitut www.vti.se
Serie och nr:	VTI Rapport 890
Utgivningsår:	2016
VTI:s diarienr:	2014/0390-7.1
ISSN:	0347-6030
Projektnamn:	Framtagning av nya V/D-funktioner med korsningsfördröjning
Uppdragsgivare:	Trafikverket
Nyckelord:	Restidsfunktioner, VD-funktioner, V/D-funktioner, Statisk nätutläggning, Makroskopiska trafikmodeller, Sampers
Språk:	Svenska
Antal sidor:	62

Abstract

This report presents method and result for the development of new travel time functions for the Swedish national transport planning modelling system Sampers. Travel time functions includes one part that describes the travel time delay on road links and one part that describes the delay at intersections. It is difficult and expensive to conduct synchronized measurements of traffic flow and travel times. An alternative approach have therefore been applied in which the travel time functions were calibrated based on calculations of intersection delay for different intersection designs using the intersection delay and capacity model Capcal. The travel time functions developed were tested and validated are now implemented in the Sampers system.

Title:	New volume delay functions with intersection delay
Author:	Johan Olstam (VTI, www.orcid.org/0000-0002-0336-6943) Leonid Engelson (Trafikverket, www.orcid.org/0000-0002-4531-8659) Lars Johansson (Trafikverket) Clas Rydergren (Linköpings universitet, www.orcid.org/0000-0001-6405-5914)
Publisher:	Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) www.vti.se
Publication No.:	VTI Rapport 890
Published:	2016
Reg. No., VTI:	2014/0390-7.1
ISSN:	0347-6030
Project:	Development of new V/D functions with intersection delay
Commissioned by:	Trafikverket
Keywords:	Travel time functions, Volume delay functions, VD-functions, V/D-functions, Static traffic assignment, Macroscopic traffic models, Sampers
Language:	Swedish
No. of pages:	62

Förord

Projektet har finansierats av Trafikverket och genomförts som ett forskningssamarbete mellan Trafikverket (Leonid Engelson och Lars Johansson), Statens väg- och transportforskningsinstitut (Johan Olstam) och avdelningen för Kommunikations- och transportsystem vid Linköpings Universitet (Clas Rydergren).

Linköping, Mars 2016

Johan Olstam
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern/extern peer review har genomförts (2016-03-03) av (Joakim Ekström). (Förste författaren; Johan Olstam) har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef (Andreas Tapani) har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering (2016-03-09). De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Internal/external peer review was performed on (2016-03-03) by (Joakim Ekström). (First author; Johan Olstam) has made alterations to the final manuscript of the report. The research director (Andreas Tapani) examined and approved the report for publication on (2016-03-09). The conclusions and recommendations expressed are the author's/authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning **9**

Summary **10**

1. Inledning **11**

2. Restidsfunktioner för statisk nätutläggning **12**

3. Vägnätsklassificering och automatkodning av länkar och noder **14**

4. Funktionsform **18**

4.1. Separering av länk- och korsningsfördröjning 18
4.2. Länkrestid 20
4.3. Korsningsfördröjning 21
4.3.1. Korsningsfördröjning för länktyper (vägar) som används utanför tätorter (VDF-index 1-18 och 33-64) 21
4.3.2. Korsningsfördröjning för länktyper (vägar och gator) som bara används i tätorter (VDF-index 19-32 och 65-76) 22

5. Metod för parameterkalibrering **24**

6. Antaganden om korsningsutformning **28**

6.1. Antaganden om trafikförhållanden 30
6.2. Antaganden om korsningsutformning 34

7. Resulterande korsningsfördröjningsfunktioner **36**

8. Tillämpning av framtagna funktioner i Sampers **37**

8.1. Initiala utvärderingar 37
8.1.1. Implementering av funktionerna i Sampers 37
8.1.2. Resultat 38
8.2. Transformationer och efterjusteringar av korsningsfördröjningsfunktionerna 38
8.3. Utvärdering av justerade korsningsfunktioner 39

9. Diskussion kring aspekter att beakta vid framtagning av restidsfunktioner **41**

10. Slutsatser och förslag till fortsatt arbete **44**

Referenser **45**

Bilaga 1 Slutlig funktionsuppsättning i EMME format **47**

Bilaga 2 Slutlig funktionsuppsättning i form av restidsgrafer **58**

Sammanfattning

Nya restidsfunktioner med korsningsfördröjning

av Johan Olstam (VTI), Leonid Engelson (Trafikverket), Clas Rydergren (Linköpings universitet) och Lars Johansson (Trafikverket)

Statiska jämviktsmodeller är viktiga verktyg vid bland annat långsiktig trafikplanering. En central del i dessa verktyg är de underliggande restidsfunktionerna, ofta kallade V/D-funktioner (eng. *Volume/Delay)*. De restidsfunktioner som fram till 2014 använts i Trafikverkets prognosmodell Sampers har under många år kritiserats för att vara inaktuella och ge en inkorrekt beskrivning av förhållandet mellan medelrestid och trafikflöde. Under åren 2008-2010 genomförde Trafikverket en förändring av hastighetsgränssystemet som innebar att det nu även finns vägar med hastighetsgränserna 40, 60, 80, 100 och 120 km/h. Vägnätet har också förändrats i termer av att mötesfria vägutformningar blivit allt vanligare. Det fanns således också ett behov av att ta fram nya restidsfunktioner för de nya hastighetsgränserna och för mötesfria vägar. Med denna bakgrund tog Trafikverket under 2014 fram en ny beskrivning av vägnätet till Sampers baserat på Nationella Vägdatabasen (NVDB). Trafikverket önskade i samband med detta att säkerställa konsistens mellan Sampers och de effektsamband som Trafikverket använder i EVA och Samkalk. I ett första läge skapades restidsfunktioner som var en direkt omskrivning av Trafikverkets hastighetsflödessamband (VQ-samband). Dessa samband beskriver dock endast restid och fördröjningar på väglänkar och inkluderar inte fördröjningar i korsningar. Syftet med detta projekt var att tillämpa metodiken från VTI Rapport 571 för att ta fram kompletterande korsningsfördröjningar.

Framtagning av restidsfunktioner innehåller flera steg. Det är inte praktisk möjligt att kalibrera en restidsfunktion för varje fysisk länk i vägnätet utan vägnätet behöver delas upp i olika vägnätsklasser. Varje fysisk väglänk som tillhör en viss klass antas ha samma förhållande mellan flöde och restid. Nästa steg är att ansätta en matematisk funktion med lämpliga parametrar för att beskriva restid som funktion av trafikefterfrågan. I detta arbete har en matematisk funktion som delar upp restiden i friflödesrestid, länkfördröjning och korsningsfördröjning. För friflödesrestiden och länkfördröjningen har en styckvis linjärfunktion baserat på Trafikverkets hastighetsflödessamband använts. För korsningsfördröjningen har Akcelik's korsningsfördröjningsfunktion använts.

Korsningsfördröjningsfunktionen innehåller parametrar som behöver kalibreras för de olika vägnätsklasserna. För kalibreringen av parametrarna i korsningsfördröjningsfunktionen behövs data som beskriver samband mellan restid och trafikefterfrågan. Sådan data är svår och dyr att samla. Istället användes en alternativ ansats där korsningsfördröjningen skattas baserat på antaganden om korsningsutformning- och flödesförhållanden. Baserat på sådana antaganden och beräkningar med korsningsmodellen Capcal skapades en uppsättning korsningsfördröjningsfunktioner.

Tillämpningen av de framtagna restidsfunktionerna genomfördes i flera steg. Först genomfördes Sampersberäkningar för Samm-regionen (Stockholm och Mälardalen). Resultaten från dessa beräkningar visade på behov av justeringar av restidsfunktionerna och dess parametervärden. Slutligen genomfördes ytterligare en omgång med nätutläggningar med de justerade restidsfunktionerna. Validering visar på att elasticitet av restider med avseende på flöden har kommit betydligt närmare den observerade elasticiteten (i genomsnitt) med de nya restidsfunktionerna. Överenstämmelsen med mätdata är dock inte perfekt. Resultat av arbetet kan betraktas som tillfredställande på kort sikt men har alltför svag empirisk anknytning. Nya restidsfunktioner behöver därför tas fram både för stadsmiljö och för landsbygden. I ett sådant arbete bör man också se över vilka ytterligare variabler som har betydelse för ruttval och hastigheter, exempelvis vägvisning, komfortfaktorer, automatisk kameraövervakning (ATK), störningar i tätortsmiljöer etc.

Summary

New volume delay functions with intersection delay

by Johan Olstam (VTI), Leonid Engelson (Trafikverket), Clas Rydergren (Linköpings universitet) and Lars Johansson (Trafikverket)

Static traffic assignment models is an important tool for long term traffic planning. A central part of these models is the underlying travel time functions, often called volume delay (V/D) functions. The travel time functions used until 2014 in Trafikverket's (Swedish Transport Administration) transport modelling system Sampers have been criticized to be out of date and inaccurate in terms of the relation between travel time and travel demand. During 2008-2010 Trafikverket conducted a general review of the Swedish speed limit system. The review resulted in that the Swedish road network now also include roads with speed limit 40, 60, 80, 100 and 120 km/h. The road network have also changes in terms of that oncoming separated roads have become more common. Thus, there was a need to develop travel time functions for the new speed limits and for oncoming separated roads. Trafikverket developed a new description of the Swedish road network in Sampers based on the National Road database NVDB. The purpose was to ensure consistency between Sampers and the effect size calculation methods that Trafikverket use in their other tools, e.g. EVA and Samkalk. As a first step, travel time functions were created based on Trafikverket's speed-flow relationships (VQ-relationships). However, these VQ-relationships describes only the travel time and delay on road links and do not include delays at intersections. The aim of this project was to apply the methodology from VTI report 571 in order to produce a complementary set of intersection delay functions.

Development of travel time functions are conducted in several steps. It is neither practical nor doable to calibrate a unique travel time function for each physical link in the road network. The road network need to be divided into road classes. All links within a road class are assumed to have the same relation between travel time and travel demand. The next step is to choose a mathematical function with suitable parameters that can be used to describe the travel time as a function of demand. In this work we used a mathematical function that include separate terms for the free flow travel time, the link delay and the intersection delay. The free flow travel time and the link delay is based on Trafikverket's piecewise linear VQ-relationships while Akcelik's intersection delay function is used for the intersection delay part of the travel time function.

The intersection delay function includes parameters that need to be calibrated individually for each road class. The calibration requires synchronized data on intersection delay and travel demand, which is both difficult and expensive to collect. An alternative approach was used instead, in which the intersection delay was estimated based on assumptions on intersection design and flow relationships. Based on these assumptions and calculations using the intersection delay model Capcal a set of intersection delay functions were constructed.

The travel time functions developed were implemented using a three step process. First the functions we applied in Sampers calculations for the Samm region (Stockholm and Mälardalen). The result from these calculations indicated that adjustments of the travel time functions and their parameter values were needed. The travel time functions and their parameters were revised and then a new set of Sampers assignments were conducted using the revised travel time functions. The validation show that the travel time elasticity with respect to travel demand are closer to the observed elasticities (in average) when using the new travel time functions. However, there is not a perfect match. The results of the project are satisfying in a short term perspective but a stronger empirical base is desirable. New travel time functions need to be developed both for urban and rural environments. This development also need to investigate which further factors that may influence the route choice, e.g. route guidance, comfort, speed cameras, incidents, etc.

1. Inledning

De restidsfunktioner som fram till 2014 använts i Trafikverkets prognosmodell Sampers har under många år kritiserats för att vara inaktuella och ge en inkorrekt beskrivning av förhållandet mellan medelrestid och trafikflöde (Matstoms, 2004, Janson Olstam och Matstoms, 2006). Till exempel så visar beräkningar med 2003 års version på att ett införande av trängselskatten i Stockholm ger en flödesminskning med 29% (över trängselportalerna) samt en minskning av restiden med 5% (över rutter med restidskameror) medan det verkliga utfallet var en minskning på 13% för både flöde och restid. Ett annat problem var att det i Sampers användes olika restidsfunktioner för olika regioner och det fanns således ett behov av harmonisering av vägnätsklassificering med tillhörande restidsfunktioner. Under åren 2008-2010 genomförde Trafikverket en förändring av hastighetsgränssystemet som innebar att det nu även finns vägar med hastighetsgränserna 40, 60, 80, 100 och 120 km/h. Vägnätet har också förändrats i termer av att mötesfria vägutformningar blivit allt vanligare. Det fanns således också ett behov av att ta fram nya restidsfunktioner för de nya hastighetsgränserna och för mötesfria vägar.

Med denna bakgrund tog Trafikverket under 2014 fram en ny beskrivning av vägnätet till Sampers baserat på Nationella Vägdatabasen (NVDB). Trafikverket önskade i samband med detta att säkerställa konsistens mellan Sampers och de effektsamband som Trafikverket använder i EVA och Samkalk. För att säkerställa detta behöver till exempel restidsfunktionerna i Sampers följa en vägklass- och funktionsindelning som är konsistent med Trafikverkets EVA-modell och Effektsamband för vägtransportsystemet (Trafikverket, 2014c). I ett första läge skapades restidsfunktioner som var en direkt omskrivning av de hastighetsflödessamband (VQ-samband) som används i Trafikverkets Effektsamband (Trafikverket, 2014c). Dessa samband beskriver dock endast restid och fördröjningar på väglänkar och inkluderar inte fördröjningar i korsningar.

VTI tog under 2006-2007, på uppdrag av dåvarande Vägverket, fram en metodik för framtagning av restidsfunktioner för tätortsmiljöer (Dokumenterad i VTI Rapport 571 (Janson Olstam och Matstoms, 2007)). Rapporten presenterade dels en metod för att skatta fördröjningstillägg till restidsfunktioner på grund av korsningar, dels ett förslag till vägklassindelning (liknande det som Trafikverket nu har tänkt att anamma), samt baserat på ett antal antaganden kring typisk korsningsutformning en uppsättning preliminära V/D-funktioner.

Syftet med detta projekt var att tillämpa metodiken från VTI Rapport 571 (Janson Olstam och Matstoms, 2007) för att ta fram korsningsfördröjningar till de nya restidsfunktionerna i Sampers.

Rapporten startar med en introduktion till restidsfunktioner i kapitel 2. I kapitel 3 presenteras den vägnätsklassificering som används för de nya restidsfunktionerna. En beskrivning av de nya restidsfunktionerna matematiska funktionsform presenteras sedan i kapitel 4. I kapitel 5 presenteras metoden för parameterkalibrering. Metoden för parameterkalibrering kräver ett antal antaganden om korsningsutformning och flödesförhållanden, dessa presenteras i kapitel 6. De skattade parametervärdena presenteras i kapitel 7. Nätutläggningsexperiment, validering mot verkliga flöden och restider samt justeringar av parametervärden baserat på dessa experiment och valideringsstudier presenteras i kapitel 8. I kapitel 9 summeras och diskuteras aspekter som behöver beaktas vid framtagning av restidsfunktioner för statiska jämviktsmodeller baserat på erfarenheter från de senaste dryga tio årens utveckling i Sverige. Kapitel 10 avslutar rapporten med slutsatser och förslag till nästa steg. De slutliga restidsfunktionerna presenteras i numerär form i Bilaga 1 och i grafisk form i Bilaga 2.

2. Restidsfunktioner för statisk nätutläggning

För samhällsekonomiska analyser inom persontransportområdet finns en lång tradition av avancerade beräkningsmodeller. Det är modeller som utvecklats för varierande frågeställningar men där det genomgående temat är beräkning av förväntat resande och uppskattning av trafikens fördelning i tid och rum; ofta som underlag för beräkning av effekter och samhällsekonomisk värdering avseende säkerhet, miljö och framkomlighet.

Persontransportmodeller bygger ofta på den traditionella fyrstegsprincipen, som i korthet innebär en hierarkisk struktur för beräkning av totalt resande, fördelning på transportslag, destinationer och vägval. Internationellt finns flera exempel på sådana modeller. I Sverige används främst Sampers-systemet (Transek, 2001) och den nyare LUTRANS-modellen som använder samma nät men enklare efterfrågemodell. En styrka med modeller av denna typ är att de till sin karaktär är mycket generella och kan ”riggas” för analys av olika frågeställningar. I detta projekt är fokus på vägtrafik, även om modellerna omfattar alla färdmedel.

Resultatet efter de tre första stegen i fyrstegsprincipen är OD-matriser för olika reseärenden, färdmedel och eventuellt tidsperioder. OD-matriser anger reseefterfrågan det vill säga det genomsnittliga antalet resor mellan olika punkter som startar per timme under en viss period. Matrisen i sig ger dock ingen information om hur efterfrågan tillgodoses, det vill säga vilka vägval som trafikanterna mellan start- och målpunkterna antas göra. Detta görs i fyrstegsmodellens sista steg, nätutläggningen. Här beräknas hur trafikefterfrågan, enligt OD-matrisen, fördelas i nätverket och ger upphov till trafikflöden på länknivå. Restidsfunktioner (VDF från engelskans *volume delay function*) används för att utifrån trafikflödet på en länk beräkna tiden för att passera länken och vidare den generaliserade resekostnaden som är en linjär kombination av restiden, monetär kostnad (exempelvis trängselskatt eller färjeavgift) och avstånd (exempelvis bränslekostnad). Restiden räknas om till en reskostnad i monetära termer utifrån antaganden om tidsvärden, det vill säga hur mycket olika typer av resenärer värderar restid i pengar. Ruttvalet bestäms enligt jämviktsprincipen (Wardrop, 1952) som säger att resenärer mellan varje OD-par antas välja en rutt som har minsta generaliserade resekostnaden av alla rutter som förbinder detta OD-par.

Många programvaror för nätutläggning, till exempel EMME (INRO, 2006b, INRO, 2006a) och Visum (PTV, 2006a, PTV, 2006b), kan lösa det symmetriska jämviktsproblemet. Förutsättningen är då att restiden på en länk endast beror av det egna flödet och inte av flöden på andra länkar. Det innebär att restiden bland annat inte får vara beroende av flödet i mötande riktning och att fördröjningen i en korsning inte får vara beroende av storleken på det korsande trafikflödet. Detta är en viktig begränsning eftersom restider i praktiken till stor del beror av andra trafikströmmar än den egna. Å andra sidan kan storleken på angränsande trafikflöden ibland antas vara proportionellt mot den egna trafikströmmens storlek, vilket i någon mån reducerar effekten och gör det möjligt att trots allt fånga upp restiden som en funktion av det egna flödet. Om restiden på en länk även antas bero på flöden på andra länkar så får man ett asymmetriskt jämviktsproblem som beräkningsmässigt jämfört med det symmetriska är mycket svårare och ibland till och med saknar entydig lösning.

Utöver antagandet om att V/D-funktionerna endast kan bero av flödet i den egna riktningen krävs att de är monotona. Det innebär att hastigheten under ökande flöde är avtagande. Uttryckt som restid krävs att funktionen på motsvarande sätt ökar med ökande flöde. Under dessa förutsättningar har det symmetriska jämviktsproblemet alltid en unik lösning i form av länkflöden och länkrestider.

Nätutläggning enligt ovan innebär en statisk uppskattning av trafikens fördelning i nätverket. Lösningen är statisk i den meningen att trafikförhållandena under perioden antas konstanta. En konsekvens är att den naturliga dynamik som är förknippad med högre trafikflöden och trängsel, med uppbyggnad och avveckling av köer, inte explicit kan fångas upp. Dynamiska modeller för nätutläggning, till exempel Transmodeler (Caliper, 2009), Dynameq (Mahut och Florian, 2010) och Aimsun (Casas et al., 2010, TSS-Transport Simulation Systems, 2015), har en tidsdimension och ger

därmed bättre möjligheter att beskriva trafikens dynamik. Dynamiska modeller har dock nackdelen att de kräver mer, och mer detaljerad och komplex indata. Detta gör att denna typ av modeller bäst lämpar sig för implementeringar med geografisk täckning som är mindre än hela storstadsregioner eller nationell täckning.

Till skillnad mot dynamiska modeller som hanterar köer och kan fånga upp effekter av bakåtblockering och trafik som inte kommer igenom på grund av trängsel, bestäms restider i statiska modeller enbart av underliggande restidsfunktioner där också trafikefterfrågan definitionsmässigt alltid tillgodoses. Oavsett hur ”bra” restidsfunktionen som används finns i den statiska modellen därmed en inbyggd begränsning som vid trängsel innebär risk för främst underskattning av restider och överskattning av länkflöden.

Vid nätutläggning kan restider behöva uppskattas för flöden (efterfrågan) som överstiger aktuell kapacitet; antingen för att höga flöden uppstår under iterationerna vid lösningen av jämviktsproblemet eller för att den slutliga lösningen på vissa länkar verkligen innebär så hög efterfrågan. I båda fallen förutsätts restidsfunktionerna vara definierade för efterfrågan som överstiger kapaciteten. Denna form av extrapolation över kapacitetsgränsen innebär indirekt ett antagande om relationen mellan efterfrågan och resulterande flöde och mellan resulterande flöde och förväntad medelhastighet.

Det förtjänar att understrykas att restidsfunktionen alltså beskriver sambandet mellan *efterfrågan* och medelhastighet/medelrestid. Efterfrågan kan tillgodoses så länge den understiger kapaciteten, varvid det resulterande trafikflödet överensstämmer med efterfrågan. Större efterfrågan än kapaciteten kan inte långsiktigt tillgodoses utan resulterar i ett lägre trafikflöde och växande kö. Eftersom trafikmätningar endast registrerar aktuellt flöde och inte efterfrågan och eftersom det från uppmätta flöden inte enkelt kan avgöras om det råder överbelastning eller inte, så följer att restidsfunktionen i sin helhet inte kan registreras genom trafikmätningar och att *restidsfunktionen varken kan eller bör användas för att uppskatta medelhastigheten eller medelrestiden vid ett givet trafikflöde när överbelastning råder*.

3. Vägnätsklassificering och automatkodning av länkar och noder

Enligt Trafikverkets vägnätsklassificering som bygger på NVDB får varje klass av vägar en särskild restidsfunktion. Klassificering av vägnät återges i Tabell 3.1 (för motorvägar och flerfältsvägar), Tabell 3.2 (Mötesfria vägar) och Tabell 3.3 (för tvåfältsvägar). Förutom vägtyp så är indelning gjord med avseende på skyltad hastighet, antal körfält, vägmiljö och vägfunktion (för tätortsvägar) och vägbreddsklass för tvåfältsvägar. Indelningen innehåller totalt 76 olika restidsfunktioner. Anledningen till att antal körfält finns med som faktor i vägnätsklassificeringen är att en länks kapacitet oftast inte ökar linjärt med antalet körfält. Till exempel så ger en ökning från 1 till 2 körfält en större kapacitetsökning än en ökning från 2 till 3 körfält.

Länkattributet vägmiljö/vägfunktion[1] används för att kategorisera länken efter landsbygd eller tätort, och för tätort med ett antal alternativ beroende på miljö och funktion.

1. Landsbygd
2. Ytterområde, GIF
3. Mellanområde, GIF
4. Centrumområde, GIF
5. Ytterområde, tangent
6. Mellanområde, tangent
7. Centrumområde, tangent
8. Mellanområde, citygata
9. Centrumområde, citygata

Definitioner av ytter-, mellan- och centrumområde baseras på de definitioner som återfinns i Effektsamband för vägtransportsystemet (Trafikverket, 2015). Definitionerna återfinns nedan:

- **Ytterområde:** Används i bl.a. EVA för att karaktärisera vägmiljö:
  Skyddszon mellan gata och bebyggelse eller obebyggd omgivning. Inga tomtutsläpp eller lokala gatuanslutningar finns och ingen parkering förekommer på vägbanan. Gång- och cykeltrafik förekommer inte eller är separerad till friliggande gång- och cykelväg
- **Mellanområde:** Används i bl.a. EVA för att karaktärisera vägmiljö:
  Brett gaturum, bebyggelse > 2m från körbana, enstaka lokala gatuanslutningar, gång- och cykelbana skild från körbana med kantstöd alternativt gångbanor och cyklister på körbanan, korsande gång- och cykeltrafik i korsningar, ingen parkering
- **Centrumområde:** Används i bl.a. EVA för att karaktärisera vägmiljö: Trångt gaturum, bebyggelse på ömse sidor, tomtutsläpp, lokala gatuanslutningar, gångbanor och cyklister i körbanan, frekvent korsande gång- och cykeltrafik, parkering.

De olika gatutyperna definieras enligt följande:

- **Motorväg** avser här flerfältsvägar med planskilda korsningar och ramper med enkelriktad trafik
- **GIF** står för vägar av genomfart-, infart- och förbifartskaraktär.
- **Tangent** avser huvudgator framförallt mellan stadsdelar. Observera att även dessa gatutyper kan innehålla planskilda korsningar
- **Citygata** avser uppsamlingsgator och lokalgator.

[1] Begreppet vägmiljö/vägfunktion (vm/vf) saknas i NVDB. Kodningen har gjorts schablonmässigt med hjälp av tätortspolygoner och skyltad hastighet.

I samband med införande av en ny vägnätsrepresentation i Sampers/EMME har en särskild programvara (IPA-systemet) utvecklats för att automatiskt generera klassificering av länkarna i vägnätsklasser med data från NVDB. Vägnätsklassificering, innehållande de 76 olika länkklasserna, är en delmängd av de indelningar som finns beskrivna gällande Effektkatalog (Trafikverket, 2014c) och som finns implementerade i EVA-systemet (Trafikverket, 2012). En fördel med att använda just dessa 76 klasser är att det finns ett hastighetsflödessamband (VQ-samband) för varje klass som beskriver hastigheten längs länken (utan hänsyn till korsningsfördröjning) som funktion av trafikflödet på länken. Dessa VQ-samband används i Trafikverkets effektmodeller EVA och Samkalk.

Tabell 3.1 Vägnätsklassificering för motorvägar och flerfältsvägar.

VDF-index	Benämning	Skyltad hastighet [km/h]	Antal körfält (båda riktningarna)	Vägbreddsklass [m]	VM/VF[2]
1	MV_H120	120			
2	MV_H110_6kf	110	>=6		
3	MV_H110_4kf	110	4		
4	MV_H100_6kf	100	>=6		
5	MV_H100_4kf	100	4		
6	MV_H90_6kf	90	>=6		
7	MV_H90_4kf	90	4		
8	MV_H80_6kf	80	>=6		
9	MV_H80_4kf	80	4		
10	MV_H70_6kf	<=70	>=6		
11	MV_H70_4kf	<=70	4		
12	Flerfält_H110	>=110			
13	Flerfält_H100	100			
14	Flerfält_H90	90			
15	Flerfält_H80_6kf	80	>=6		
16	Flerfält_H80_4kf	80	4		
17	Flerfält_H70_6kf	70	>=6		
18	Flerfält_H70_4kf_vmvf1	70	4		1
19	Flerfält_H70_4kf_vmvf2	70	4		2
20	Flerfält_H70_4kf_vmvf5	70	4		5
21	Flerfält_H70_4kf_vmvf6	70	4		6
22	Flerfält_H60_6kf	60	>=6		
23	Flerfält_H60_4kf_vmvf2	60	4		1,2
24	Flerfält_H60_4kf_vmvf5	60	4		5
25	Flerfält_H60_4kf_vmvf6	60	4		6
26	Flerfält_H50_6kf	50	>=6		
27	Flerfält_H50_4kf_vmvf2	50	4		1,2
28	Flerfält_H50_4kf_vmvf5	50	4		5
29	Flerfält_H50_4kf_vmvf8	50	4		8
30	Flerfält_H40_4kf_vmvf4	<=40			1,4
31	Flerfält_H40_4kf_vmvf7	<=40			7
32	Flerfält_H40_4kf_vmvf8	<=40			8

[2] Vägmiljö/Vägfunktion.

Tabell 3.2 Vägnätsklassificering för mötesfria vägar.

VDF-index	Benämning	Skyltad hastighet [km/h]	Antal körfält (båda riktningarna)	Vägbreddsklass [m]	VM/VF3
33	MML_H110_2+2kf	>=110	4		
34	MML_H110_2+1kf	>=110	3		
35	MML_H100_2+2kf	100	4		
36	MML_H100_2+1kf	100	3		
37	MML_H90_2+2kf	90	4		
38	MML_H90_2+1kf	90	3		
39	MML_H80	<=80			
40	MLV_H110_2+2kf	>=110	4		
41	MLV_H110_2+1kf	>=110	3		
42	MLV_H100_2+2kf	100	4		
43	MLV_H100_2+1kf	100	3		
44	MLV_H90_2+2kf	90	4		
45	MLV_H90_2+1kf	90	3		
46	MLV_H80	80			
47	MLV_H70	<=70			

Tabell 3.1 - Tabell 3.3 visar hur väglänkarna delas in i olika klasser vid automatkodningen från NVDB. Vid automatkodningen med programmet IPA plockas först mindre viktiga länkar bort ur vägnätet. Korsningar där dessa länkar anslöt till kvarvarande länkar finns dock kvar som noder. Korsningar som ligger närmre än ett visst avstånd (parameter i IPA satt till 50 m (Trafikverket, 2014a)) från varandra slås ihop till en fiktiv korsningsnod. Dessutom genomför programmet homogeniseringar av väglänkar genom att sätta in stödnoder där vägen passerar kommun- eller tätortsgräns eller när någon egenskap (länkklass, funktionell vägklass, ATK sträcka, trafikvariationstyp, vägkategori, vägnummer eller vägtyp) ändras så att alla dessa egenskaper är entydigt bestämda för varje länk. Nodtyp bestäms sedan för varje nod utifrån den nya geometrin. I ett attribut benämnt @ntyp anges om korsningen är av typen 1=oreglerad plankorsning; 2=cirkulationsplats; 3=signalkorsning; 5=planskild korsning; eller 6=stöd- eller splittringsnod, 8=vävningssträcka (nodtyp 4 och 7 används inte). Även korsningar med borttagna underordnade vägar markeras som nodtyp 6. Detta innebär att information (som finns i NVDB) om ifall en viss nod är en korsning med en borttagen väg eller en stödnod förloras när Sampersnätet skapats.

[3] Vägmiljö/Vägfunktion.

Tabell 3.3 Vägnätsklassificering för tvåfältsvägar.

VDF-index	Benämning	Skyltad hastighet [km/h]	Antal körfält (båda riktningarna)	Vägbreddsklass [m]	VM/VF[4]
48	Tvåfält_H110_B11	>=110		>9	
49	Tvåfält_H110_B9	>=110		<=9	
50	Tvåfält_H100_B11	100		>9	
51	Tvåfält_H100_B9	100		9	
52	Tvåfält_H100_B7	100		<9	
53	Tvåfält_H90_B11	90		>9	
54	Tvåfält_H90_B9	90		9	
55	Tvåfält_H90_B7	90		7	
56	Tvåfält_H90_B5	90		<7	
57	Tvåfält_H80_B11	80		>9	
58	Tvåfält_H80_B9	80		9	
59	Tvåfält_H80_B7	80		7	
60	Tvåfält_H80_B5	80		<7	
61	Tvåfält_H70_B11_vmvf1	70		>9	1
62	Tvåfält_H70_B9_vmvf1	70		9	1
63	Tvåfält_H70_B7_vmvf1	70		7	1
64	Tvåfält_H70_B5_vmvf1	70		<7	1
65	Tvåfält_H70_vmvf2	70			2
66	Tvåfält_H70_vmvf5	70			5
67	Tvåfält_H70_vmvf6	70			6
68	Tvåfält_H60_vmvf2	60			1,2
69	Tvåfält_H60_vmvf5	60			5
70	Tvåfält_H60_vmvf6	60			6
71	Tvåfält_H50_vmvf2	50			1,2
72	Tvåfält_H50_vmvf5	50			5
73	Tvåfält_H50_vmvf8	50			8
74	Tvåfält_H40_vmvf4	<=40			1,4
75	Tvåfält_H40_vmvf7	<=40			7
76	Tvåfält_H40_vmvf8	<=40			8

[4] Vägmiljö/Vägfunktion.

4. Funktionsform

Restiden på tätortslänkar kan delas upp i restid på väglänkar mellan korsningar, $t_{länk}$, och tid för att passera korsningar, $t_{korsning}$. Restiden på länkar mellan korsningar, $t_{länk}$, kan delas in i:

1. **Friflödesrestid** ($t_{fri,länk}$)**:** restiden som det tar att köra länkens längd givet dess geometriska utformning (väg- och körfältsbredd, kurvradier, lutningar, avstånd till sidohinder, etc.) men utan störningar från övrig trafik,

2. **Länkfördröjning** ($d_{länk}$)**:** eventuell fördröjning på grund av att fordonen inte kan hålla sin önskade hastighet (exempelvis på grund av andra långsammare fordon).

Tiden för att passera en korsning, $t_{korsning}$, består i sin tur av:

3. **Geometrisk restidsförlängning** ($t_{fri,korsning}$)**:** eventuell extra restid på grund av att korsningsgeometrin medför en lägre hastighet (lägre maximal hastighet vid höger eller vänstersväng eller genom en cirkulationsplats),

4. **Korsningsfördröjning** ($d_{korsning}$)**:** som består av

    a) **Kötid:** eventuell fördröjning på grund av köbildning vid korsningar,

    b) **Betjäningstid:** eventuell fördröjning när fordonet står längst fram i en korsning och väntar på sin tur (grön signal eller en tillräckligt stor lucka i det överordnade trafikflödet).

Den totala fördröjningen består av summan av länkfördröjningen och korsningsfördröjningen (punkterna 2, 4a och 4b). Korsningsfördröjningen är en summa av kötid och betjäningstid (punkterna 4a och 4b). Denna benämns ofta som interaktionsfördröjning, det vill säga fördröjningen på grund av interaktion med andra trafikanter till skillnad mot den geometriska restidsförlängningen som avser ”interaktionen” med väg- och korsningsutformningen. I vissa sammanhang räknas dock även den geometriska restidsförlängningen (punkt 3 ovan) som korsningsfördröjning. Vi har dock här valt att med fördröjning endast benämna fördröjning som uppstår på grund av interaktion med övrig trafik och eftersom den geometriska restidsförlängningen inte beror på övrig trafik utan är densamma oavsett trafikflödet så har den inte räknats som fördröjning utan kallts för geometrisk restidsförlängning. På landsvägar och motorvägar i landsbygdsmiljö domineras fördröjningen av länkfördröjningen (på grund av begränsade omkörningsmöjligheter) medan det för gator och vägar i tätort är korsningsfördröjningen som dominerar. För stadsmotorvägar kan det variera om det är den länk- eller korsningsrelaterad fördröjningen som är störst.

En restidsfunktion som ska användas i statisk nätutläggning behöver till så stor del som möjligt fånga upp de olika typerna av fördröjning. Ett känt problem är att det endast går att fånga upp köbildning och fördröjning per väglänk, det vill säga det finns inte möjlighet att ta hänsyn till bakåtblockering. All fördröjning som orsakas av interaktion med andra fordon på en länk och en korsning hamnar således på den aktuella länken eller för korsningsfördröjningen på den första väglänken uppströms korsningen.

4.1. Separering av länk- och korsningsfördröjning

I många vanligt använda restidsfunktioner, som exempelvis BPR-funktionen (Bureau of Public Roads, 1964) eller TU71-funktionerna (Jonsson, 1995), så sammanfogas all fördröjning i en fördröjningsterm som tillsammans med friflödesrestiden beskriver restiden på en länk. Detta ger en funktion utan någon

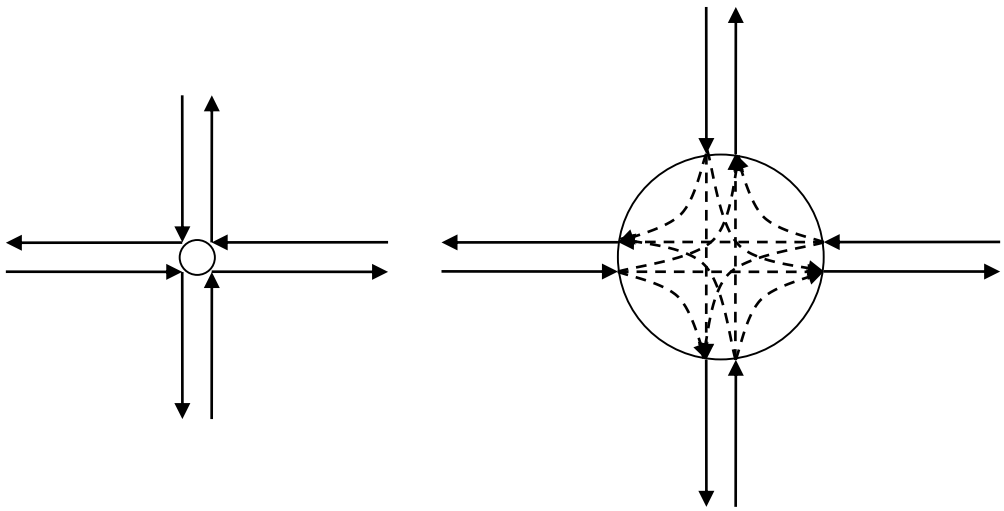
tydlig uppdelning vilken term som beskriver vilken del av fördröjningen. Janson Olstam och Matstoms (2007) föreslog att restidsfunktionerna skulle delas upp som

$$t(q, L) = t_{fri,länk}\ (L) + d_{länk}\ (q, L) + t_{fri,korsning} + d_{korsning}(q), \quad (1)$$

där q är flöde per körfält, L är länkens längd, $t_{fri,länk}(L)$ är friflödesrestiden, $d_{länk}$ är länkfördröjningen, $t_{fri,korsning}$ är den geometriska restidsförlängningen i korsningen och $d_{korsning}(q)$ är korsningsfördröjningen (som innefattar kötid och betjäningstid).

Vi har valt att uttrycka restiden som funktion av flödet per körfält, det vill säga att q i ekvation (1) är uttryckt i fordon/timme/körfält. Upplägget med flöde per körfält är fördelaktigt då det gör det möjligt att modellera länkar där kapaciteten av olika anledningar motsvarar fraktioner av körfält. Detta kan till exempel vara additionskörfält, vilka vanligtvis inte ökar länkens totala kapacitet med motsvarande ett körfält utan snarare med ett halvt körfält.

Det finns två huvudansatser för hur korsningar och korsningsfördröjning modelleras i statiska nätutläggningsmodeller. I den första så modelleras korsningen endast som en nod och fördröjningen för alla svängrelationer från en inkommande länk beskrivs som en gemensam funktion av flödet på länken, se Figur 1 (a). Det andra alternativet är att modellera även de olika svängrelationerna med hjälp av fiktiva länkar där restiden på dessa fiktiva länkar är lika med fördröjningen för svängrelationen, se Figur 1 (b).



Figur 1 Illustration av de två huvudprinciperna för modellering av korsningar och korsningsfördröjning i nätutläggningsmodeller.

För regionala modeller som Sampers som innehåller många korsningar finns det praktiska svårigheter med att modellera specifika svängrelationer (Figur 1 (b)), bland annat i form av begränsningar i kommersiella programvaror för hur många korsningar som kan specificeras med detaljerad information om svängrelationer. Ett annat problem är att korsningsfördröjning för en svängrelation kan i en statisk nätverksutläggning bara specificeras som funktion av flödet på samma svängrelation, men inte av flöden på ingående länken eller konflikterande svängrelationer. Ansatsen i detta arbete har därför varit att modellera korsningar som noder med en generaliserad fördröjning (Figur 1 (a)).

Vidare så finns de två olika ansatser för hur korsningsfördröjningen ska adderas till länkfördröjningen. Antingen kan korsningsfördröjningen adderas endast på de länkar som verkligen slutar i en korsning. Detta förutsätter dock att de verkliga korsningarna finns representerade i nätverket som används vid nätutläggningen, vilket inte alltid är fallet. Alternativet är att sprida ut korsningsfördröjningen enligt den princip som föreslås i Janson Olstam och Matstoms (2007) där korsningsfördröjningen läggs till på samtliga länkar enligt den genomsnittliga korsningstäthet (antal korsningar/km) för den aktuella vägnätsklassen, vilket ger

$$t(q,L) = t_{fri,länk}(L) + d_{länk}(q,L) + h \cdot L \cdot \left(t_{fri,korsning} + d_{korsning}(q)\right), \qquad (2)$$

där h är korsningstätheten (antal korsningar/km), L är länklängd i km, $t_{fri,länk}(L)$ är friflödesrestiden $d_{länk}(q,L)$ är länkfördröjningen, d_g är den genomsnittliga geometriska restidsförlängningen och $d_{korsning}(q)$ är den genomsnittliga korsningsfördröjningen per korsning.

Det finns förstås en fördel med att korsningsfördröjningen placeras i korsningen som orsakat fördröjningen och inte någon annanstans. Upplägget gör dock också modellen känslig för kapacitet på specifika infarter till korsningar. Dessa kapaciteter kan inte bestämmas entydigt från nätverksmodellen och i verkligheten beror kapacitet även på storleken på det korsande trafikflödet (se sektion 2). Om den verkliga kapaciteten för en specifik korsning avviker mycket från den genomsnittliga kapaciteten som används för den typen av korsningar så finns risk för kraftiga under- eller överskattningar av fördröjningen. Fördelen med att sprida ut korsningsfördröjningen på samtliga länkar (som i ekvation (2)) är en minskad känslighet för osäkerheten i korsningskapacitet och för kodningsfel eftersom eventuella fel sprids ut över en längre sträcka. Detta ger även mer flexibilitet i kodandet av nätverket. Om korsningstäthet används går det antingen att ange en generell korsningstäthet för en viss väglänksklass eller specificera den faktiska korsningstätheten för varje enskild länk[5]. Nackdelen för denna ansats är istället att korsningsfördröjningen på länkar som slutar i en korsning underskattas och fördröjningen på länkar som inte slutar i en korsning överskattas.

4.2. Länkrestid

Länkrestiden $t_{länk}$ är en summa av friflödesrestiden och länkfördröjningen, det vill säga de två första termerna i ekvation (1),

$$t_{länk}(q,L) = t_{fri,länk}(L) + d_{länk}(q,L), \qquad (3)$$

Beräkning av länkrestiden upp till kapacitetsgränsen baseras på de styckvis linjära hastighetsflödes-samband (VQ-samband) som Trafikverket använder i EVA (Trafikverket, 2014c). Dessa beräkningar görs separat för personbilar (pb), lastbilar utan släp (lb) och lastbilar med släp (lbs) som

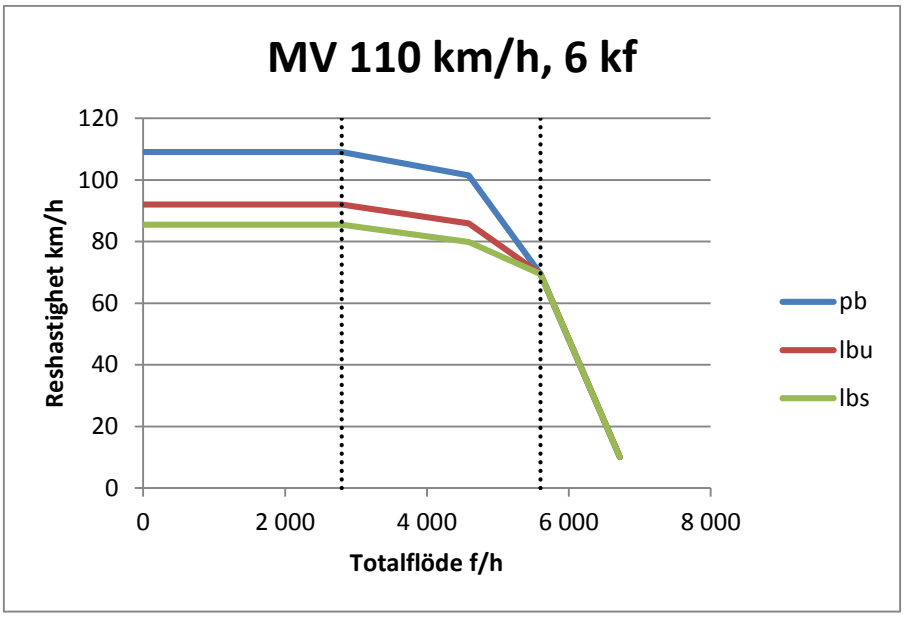
$$t_{länk}(q,L)^{pb} = \frac{L}{v_{VQ}^{pb}(q)}, \qquad (4)$$

$$t_{länk}(q,L)^{lb} = \frac{L}{v_{VQ}^{lb}(q)}, \qquad (5)$$

[5] I den föreslagna uppsättningen av VDF används en fix korsningstäthet för varje VDF.

$$t_{länk}(q, L)^{lbs} = \frac{L}{v_{VQ}^{lb}(q)}, \quad (6)$$

där L är länklängd, och $v_{VQ}^{pb}(q), v_{VQ}^{lb}(q)$ och $v_{VQ}^{lb}(q)$ är reshastigheten för respektive fordonsslag enligt Trafikverkets VQ-samband (Trafikverket, 2014c). Ett exempel på VQ-samband för sexfältig motorväg med hastighetsgräns 110 km/h och kapacitet 5600 fordon/h återfinns i Figur 2.



Figur 2 Exempel på styckvis linjärt hastighetsflödessamband för motorväg

Som synes i Figur 2 innehåller VQ-sambanden också en del som beskriver fallet med efterfrågan över kapacitetsgränsen som anger att hastigheten sjunker linjärt till 10 km/h vid en efterfrågan motsvarande 120 % av kapaciteten och är lika med 10 km/h vid ännu högre efterfrågan. Denna del av VQ-samband används inte i konstruktionen av restidsfunktionen. Istället läggs en deterministisk kötid på $15 \cdot \max\{0, q/K_{länk} - 1\}$ minuter till på restidsfunktioner som används utanför tätorter (nr 1-18 och 33-64), där q är flödet på länken och $K_{länk}$ är länkens kapacitet enligt VQ-sambandet. Kötiden är 0 vid flöden (eller snarare efterfrågan) under kapaciteten och växer linjärt vid högre flöden. Termen beskriver den genomsnittliga kötiden för fordon som ankommer till kö under den första timmen som följer efter att köbildningen startade.

4.3. Korsningsfördröjning

4.3.1. Korsningsfördröjning för länktyper (vägar) som används utanför tätorter (VDF-index 1-18 och 33-64)

För korsningar på vägar i landsbygdsmiljö utgör normalt korsningsfördröjnigen en relativt liten del av den totala fördröjningen. För dessa korsningar används därför ett schablonmässigt påslag, detta påslag berör alltså enbart vägar utanför tätorter, det vill säga VDF-index 1-18 och 33-64. Påslaget beräknas som

$$t_{korsning}(q) = L \cdot f_{landsväg} \cdot \left(\frac{q}{K_{länk}}\right)^{1,2}, \quad (7)$$

där faktorn $f_{landsväg}$ antagits vara 0.4 för motorvägar och 0.85 för andra landsvägar. Dessa faktorer och exponenten kalibrerades för att återskapa observerade flöden, se beskrivning i avsnitt 8.2.

4.3.2. Korsningsfördröjning för länktyper (vägar och gator) som bara används i tätorter (VDF-index 19-32 och 65-76)

Det har genom åren presenterats en rad olika förslag till funktionsuttryck för restidsfunktioner, som till exempel BPR-funktionen (Bureau of Public Roads, 1964), koniska funktioner (Spiess, 1990), TU71-funktionerna (Jonsson, 1995) och olika varianter av Davidsons funktion (Akcelik, 1991). Vi har för korsningsfördröjningsdelen i detta arbete valt att använda den funktionsform som föreslås i Akcelik (1991). I denna funktion beräknas korsningsfördröjningen i sekunder/korsning för en länk i en riktning som

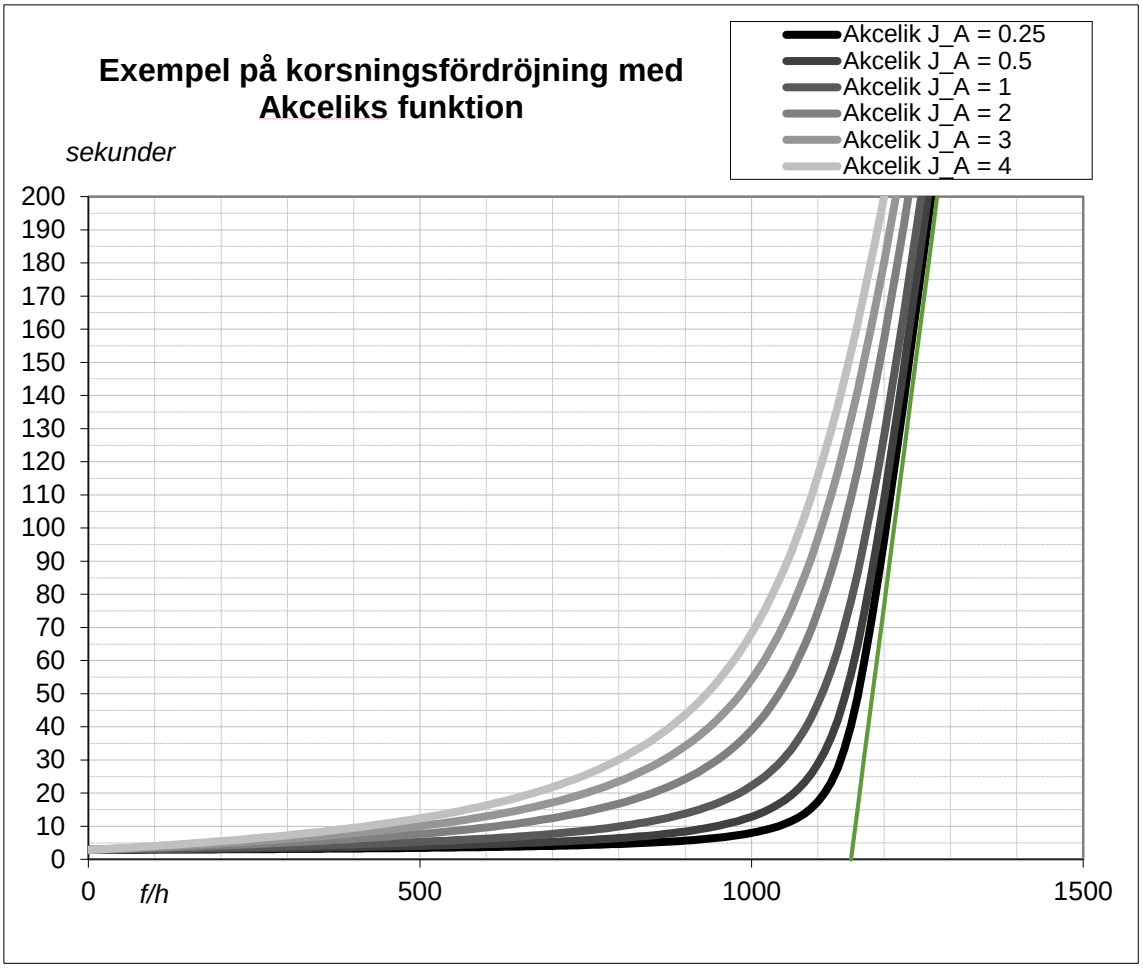
$$t_{korsning}(q) = t_{fri,korsning} + 900 \cdot T \cdot \left(z + \sqrt{z^2 + 8J_A \cdot \frac{x}{T \cdot K_{korsning}}} \right), \quad (8)$$

där $t_{fri,korsning}$ är restiden i sekunder[6] vid friflödesförhållanden (det vill säga den geometriska restidsförlängningen), T är studieperiodens längd i timmar (i detta arbete satt till 1 timme) J_A är en lutningsparameter (fordon/h/körfält), q är trafikflödet (fordon/h/körfält), $K_{korsning}$ är kapacitetsflödet (fordon/h/körfält), x är belastningsgrad, det vill säga $q/K_{korsning}$ och $z = x - 1$. I detta arbete definieras $K_{korsning}$ som det högsta flöde på den aktuella tillfarten som kan passera under antagandet att flöden på övriga tillfarter står i en given fix proportion med den aktuella tillfarten. Om vi utgår från att studieperiodens längd är 1 timme så kan ekvation (8) skrivas om som

$$t_{korsning}(q) = t_{fri,korsning} + 900 \cdot \left(z + \sqrt{z^2 + 8J_A \cdot \frac{x}{K_{korsning}}} \right), \quad (9)$$

Akceliks funktion är tilltalande ur flera synvinklar. Den baseras på koordinattransformationsmetoden som tidigare använts för att härleda funktioner för korsningsfördröjning. Korsningsfördröjning kan vid låga belastningsgrader approximativt beskrivas som omvänt proportionell mot $K_{korsning} - q$. Vid kraftig överbelastning är det däremot mer rimligt att anta att fördröjningen beror linjärt på efterfrågat flödet. Koordinattransformationsmetoden används för att härleda en funktion som för låga belastningsgrader följer det omvänt proportionella sambandet för att med ökande belastningsgrad närma sig ett linjärt samband. Det är denna härledning som konstanterna 900 och 8 härstammar ifrån. För utförligare beskrivning av denna metod se till exempel Rouphail et al. (1992) eller Akcelik (1981). Akceliks funktion är tack vare sin bakgrund från korsningsteori lätt att anpassa till fördröjningsdata för korsningar. Funktionen har dessutom få och relativt intuitiva parametrar, nämligen $t_{fri,korsning}$ och $K_{korsning}$ som är förklarade ovan samt J_A som är en lutningsparameter. Den sista parametern är den minst intuitiva men det är relativt lätt att inse att höga värden innebär en brantare funktion (vid flöden under kapaciteten) än låga värden, se exempel i Figur 3.

[6] Restiden i Emme anges i minuter. Detta påverkar vissa konstanter i formlerna när de implementeras i Emme format.



Figur 3 Exempel på hur lutningsparametern J_A påverkar fördröjningsfunktionen.

Funktionen är strikt växande, vilket är ett tillräckligt villkor för att en nätutläggning ska ge en unik lösning. Dessutom är funktionens derivata strikt växande, vilket säkerställer konvexitet, en inte nödvändig men högst önskvärd egenskap enligt Spiess (1990).

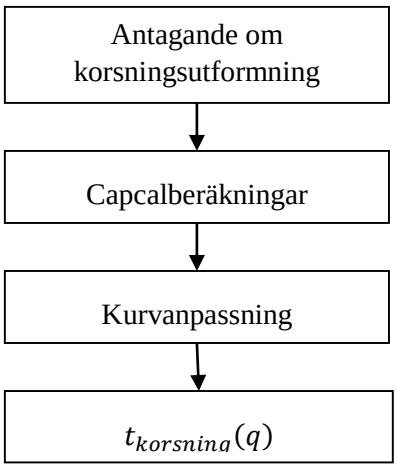
5. Metod för parameterkalibrering

För att kunna kalibrera parametrarna i en restidsfunktion krävs data om hur restiden beror av trafikflödet. Om restidsfunktionen avser både länkrestid och korsningsfördröjning krävs mätdata som fångar upp båda dessa delar. Restidsdata för ren länkrestid kan med relativt god noggrannhet uppskattas utifrån punktmätningar av reshastighet och flöde. Sådana mätningar är relativt billiga att genomföra och de genomförs regelbundet för andra syften vilket gör att en hel del data redan finns tillgängligt, till exempel får revideringar av Trafikverkets VQ-samband (Trafikverket, 2014c). Detta angreppssätt kräver dock att trafikförhållandena på hela väglänken är likvärdiga som vid mätplatsen, vilket inte är fallet om väglänken slutar i en tätortskorsning. För att säkerställa en så bra skattning av reshastighet som möjligt krävs information om de enskilda fordonens hastighet, se ytterligare diskussion i till exempel Treiber och Kesting (2013) eller Trafikverket (2014b). Detta är dock inte alltid fallet, till exempel är Trafikverkets VQ-samband (Trafikverket, 2014c) till stor del skattade från mätningar med Trafikverkets TMS-system som endast sparar medelhastighet (*time mean speed)* från vilken medelreshastigheten sedan har skattats (Olstam et al., 2013).

Det är betydligt svårare att samla in restids-/fördröjningsdata för korsningar. Det är i dagsläget betydligt dyrare och mer tidskrävande att genomföra mätningar av korsningsfördröjning. Detta beror i huvudsak på två saker. För det första krävs mer avancerad teknik, i princip videomätning eller floating-carmätningar. För det andra är variationen i fördröjning stor, både mellan olika fordon, men också mellan olika korsningar som kan anses vara likvärdiga, i detta sammanhang korsningar som tillhör samma vägnätsklass. Detta ställer krav på antalet observationer. Antagligen krävs mätningar i ett flertal korsningar inom varje vägnätsklass för att fånga upp en korrekt genomsnittlig korsnings-fördröjning för denna vägnätsklass. Om vi antar att det behövs mätningar i åtminstone fem korsningar per tätortslänkklass (det vill säga VDF-index 19-32 och 61-76) ger detta $(14 + 16) \cdot 5 = 150$ mätplatser, vilket i omfattning motsvarar en mindre trafikutredning.

En möjlig ansats, som minskar behovet av datainsamling, är att istället för mätdata använda sig av validerade modeller. Detta skulle till exempel kunna vara analytiska korsningsmodeller såsom Capcal (Vägverket, 1995a, Vägverket, 1995b), SIDRA (Akcelik & Associates Pty Ltd, 2006) eller HCM (Transportation Research Board, 2010). En annan möjlighet är att använda mikroskopiska trafiksimuleringsmodeller som AIMSUN (Casas et al., 2010) eller VISSIM (Fellendorf och Vortisch, 2010). Grundtanken är att korsningsfördröjningen för en viss vägkategori uppskattas med en korsningsmodell utifrån antaganden om korsningsutformning, flödesförhållanden, gång- och cykeltrafik, etc. Vi har i detta arbete valt att använda Capcal då denna modell är utvecklad speciellt för korsningar. Capcal har också i större utsträckning än de flesta andra korsningsmodeller och trafiksimuleringsmodeller kalibrerats och validerats för svenska korsningar. Capcal kräver dessutom mindre kodning av nätverket samt har en kortare exekveringstid. Vi har också valt att använda Capcal istället för att direkt använda härledda uttryck för korsningsfördröjning som till exempel Akcelik (1981) eller Webster (1958). Detta baserat på bedömningen att det är enklare att göra antaganden om korsningsutformning, flödesförhållanden, gång- och cykeltrafik, fasindelning, etc. än gröntidsandelar, mättnadsflöden och omloppstider som är fallet i Akcelik (1981) och Webster (1958). En annan nackdel med de härledda uttrycken är att de oftast endast klarar av att beskriva fördröjningen för en specifik korsningstyp, exempelvis så beskriver Websters funktion endast fördröjning i signalreglerade korsningar. Det krävs således flera uttryck om hänsyn ska tas till flera olika korsningstyper.

I den kalibreringsmetod som tillämpats i detta arbete används Trafikverkets VQ-samband (Trafikverket, 2014c) för att beskriva länkrestiden och resultat från beräkningar med Capcal (Trafikverket, 2014c, Linse et al., 2013) som underlag för korsningsfördröjningen. Metoden kan beskrivas enligt den schematiska skissen i Figur 4.



Figur 4 Schematisk skiss över metoden för kalibrering av korsningsfördröjningsdelen av en V/D-funktion.

Först görs antaganden om korsningsförhållanden för respektive vägkategori. Detta innefattar antaganden om:

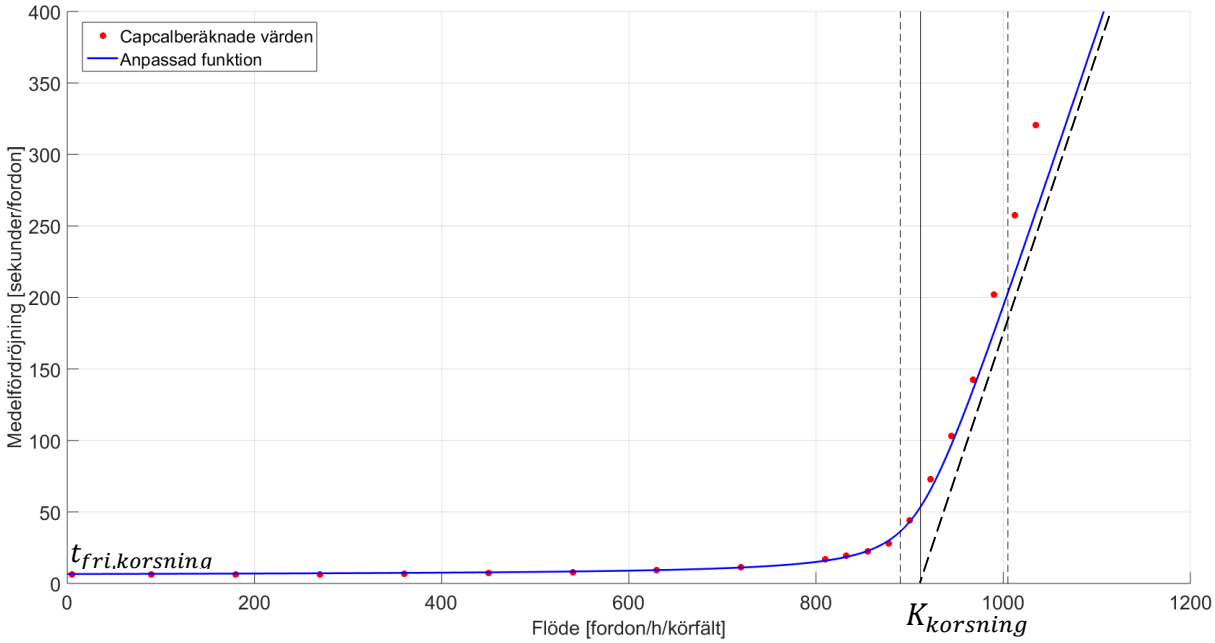
- antal körfält på övriga tillfarter
- hastighetsgräns på övriga tillfarter
- trafikflödet på övriga tillfarter i förhållande till den aktuella tillfarten
- svängandelar
- gång- och cykeltrafik
- andel tung trafik
- vävningssträckans längd i cirkulationsplatser (vilket i princip är avståndet mellan mittrefugerna på två intilliggande tillfarter, se Trafikverket (2014c), Linse et al. (2013) för utförligare beskrivning)
- Signalreglerade korsningar antas styras med blandfas. Omloppstid och gröntidsfördelning bestäms av Capcal baserat på de aktuella flödesförhållandena.

Capcal används sedan för att beräkna fördröjningen för olika trafikflöden för varje korsningsklass och korsningstyp. Beräkningar har gjorts för 20 olika flödesnivåer för den aktuella tillfarten. För varje flödesnivå har flödena på de övriga tillfarterna beräknats baserat på det antagna flödesförhållandet. För varje beräkning med Capcal fås förutom en beräkning av fördröjningen en skattning av tillfartens kapacitet och belastningsgrad. Skattningen av kapaciteten indikerar hur mycket flöde som skulle kunna passera från tillfarten givet att övriga flöden inte förändras. Eftersom flödet på de övriga tillfarterna antas öka proportionellt med flödet på den aktuella tillfarten så är de av Capcal beräknade kapaciteterna preliminära och överskattar $K_{korsning}$ vid låga antagna flöden (belastningsgrader under 1) och underskattar $K_{korsning}$ vid höga antagna flöden (belastningsgrader över 1). Tabell 5.1 visar exempelutdata från 20 beräkningar med Capcal för en cirkulationsplats med två körfält för flöden fördelade från friflödesförhållanden (10 fordon/h, det vill säga 5 fordon/h/körfält i detta fall) till ett flöde tydligt över kapaciteten (2070 fordon/h, det vill säga 1035 fordon/h/körfält i detta fall). För flöden 1845 fordon/h och 1890 fordon/h fås en skattning av belastningsgraden till 0,970 respektive 1,005. Dessa två fall där belastningsgraden är närmast under och över 1 betraktas som en övre respektive undre gräns för $K_{korsning}$.

Tabell 5.1 Exempel utdata från Capcalberäkningarna

Flöde [fordon/h/körfält]	Fördröjning [s]	Belastningsgrad	Kapacitet [fordon/h/körfält]
5	6,5	0,000	1500
90	6,5	0,060	1500
180	6,5	0,130	1385
270	6,5	0,210	1286
360	7,0	0,290	1241
450	7,5	0,380	1184
540	8,0	0,475	1137
630	9,5	0,585	1077
720	11,5	0,705	1021
810	17,0	0,835	970
832,5	19,5	0,860	968
855	22,5	0,875	977
877,5	28,0	0,900	975
900	44,0	0,935	963
922,5	73,0	0,970	951
945	103,0	1,005	940
967,5	142,5	1,040	930
990	202,0	1,075	921
1012,5	257,5	1,120	904
1035	320,5	1,160	892

Den geometriska restidsförlängningen, $t_{fri,korsning}$, hämtas från Capcalberäkningarna som fördröjningen vid det lägsta flödet (10 fordon/h det vill säga 5 fordon/h/körfält i detta fall), rad 1 i exemplet i Tabell 5.1. Parametrarna $t_{fri,korsning}$, $K_{korsning}$ och lutningsparametern J_A skattas sedan med hjälp av minsta-kvadratmetoden med minimum och maximum villkor för $t_{fri,korsning}$ och för $K_{korsning}$. För att möjliggöra en så bra kurvanpassning som möjligt har dessutom den lägre och övre gränsen för $t_{fri,korsning}$ har satts till $\pm 0{,}1$ h jämfört med Capcalberäkningen och den lägre gränsen för $K_{korsning}$ sänkts med 50 fordon/h och den högre höjts med 50 fordon/h. Kurvanpassningen genomförs för fördröjningsdata för mellanhöga och höga men ej överbelastade flöden, närmare bestämt inom belastningsgradsintervallet $0{,}4 \leq x \leq 0{,}95$ vilket är det skattningsintervall som rekommenderas i Akcelik (1991). Resultatet för exemplet i Tabell 5.1 är $t_{fri,korsning} = 6{,}48$ s, $K_{korsning} = 911{,}64$ fordon/h/körfält och $J_A = 0{,}3102$, vilket illustreras grafiskt i Figur 5 (jmf Figur 3).



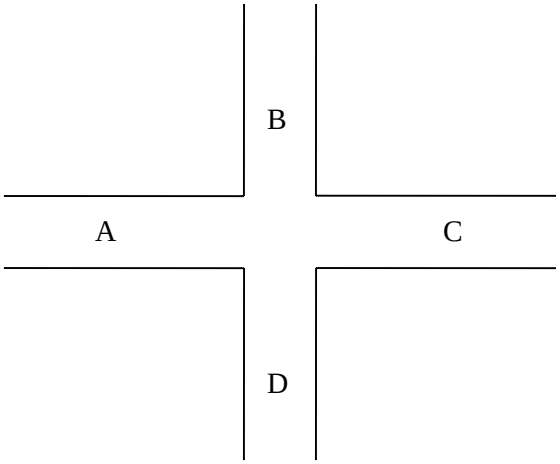
Figur 5 Exempel på skattad korsningsfördröjningsfunktion baserad på Capcal-beräkningar.

För att underlätta test av olika antaganden så har ett MATLAB-program skapats som givet en indatafil med antaganden anropar Capcal som beräknar fördröjningen för de olika korsningsklasserna, korsningstyperna och flödesnivåerna. I programmet genomförs sedan också minsta-kvadratskattningen. De uppskattade parametervärdena skrivs slutligen ut till en utdatafil. Programmet gör det lätt att testa olika antaganden och olika funktionsuttryck.

6. Antaganden om korsningsutformning

I detta kapitel redovisas de antaganden som gjorts relaterade till korsningsfunktionerna. De antaganden som gjorts inom detta arbete är i många fall baserade på preliminära bedömningar (om inget annat anges) eller resonemang om hur de olika vägkategorierna bör förhålla sig till varandra.

Vi har i detta arbete utgått från en trevägskorsning. Den tillfart som korsningsfördröjningen beräknas för benämns i denna rapport som den aktuella tillfarten eller tillfart A. Övriga tillfarter benämns enligt Figur 6. Figur 6 visar visserligen en fyrvägskorsning men tillfart C utgår i de fall A är en underordnad tillfart och tillfart B eller D utgår i de fall tillfart A är överordnad.



Figur 6 Illustration av tillfartsnumrering.

Totalt är det 30 länkklasser (det vill säga VDF-index 19-32 och 61-76) för vilka det skulle behöva skattas en korsningsfördröjningsfunktion för de tre korsningstyperna signalreglerad korsning, cirkulationsplats och stopp/väjningsreglerad korsning. Dessutom behöver tillfarten beaktas både utifrån att den kan vara överordnad eller underordnad. Detta skulle ge 180 olika kombinationer av parametrar. För att begränsa antalet kombinationer så har gruppering av vissa länkklasser genomförts, det vill säga en eller flera länkklasser kan ha samma korsningsfördröjningsfunktion. Korsningsfördröjningsfunktionerna har numrerats enligt Tabell 6.1. Vilka parametrar som ska gälla för länken bestäms av hastighetsgränsen, antalet körfält på den aktuella länken, antalet körfält på den korsande länken samt om länken är överordnad eller underordnad.

Tabell 6.1 Numrering av de olika korsningsfördröjningsfunktionerna.

Nr	Korsningstyp	Hastighetsgräns i Capcal (skyltad hastighet enligt tabell 3.1, 3.3)	Antal körfält A-C väg	Antal körfält B-D väg	Överordnad
101	Väjning/stopp	70 (60-70)	4	2	Ja
102	Cirkulationsplats	70 (60-70)	4	2	Ja
103	Signalreglering	70 (60-70)	4	2	Ja
201	Väjning/stopp	50 (30-50)	4	2	Ja
202	Cirkulationsplats	50 (30-50)	4	2	Ja
203	Signalreglering	50 (30-50)	4	2	Ja
301	Väjning/stopp	70 (60-70)	2	2	Ja
302	Cirkulationsplats	70 (60-70)	2	2	Ja
303	Signalreglering	70 (60-70)	2	2	Ja
401	Väjning/stopp	50 (30-50)	2	2	Ja
402	Cirkulationsplats	50 (30-50)	2	2	Ja
403	Signalreglering	50 (30-50)	2	2	Ja
501	Väjning/stopp	70 (60-70)	4	4	Ja
502	Cirkulationsplats	70 (60-70)	4	4	Ja
503	Signalreglering	70 (60-70)	4	4	Ja
601	Väjning/stopp	50 (30-50)	4	4	Ja
602	Cirkulationsplats	50 (30-50)	4	4	Ja
603	Signalreglering	50 (30-50)	4	4	Ja
701	Väjning/stopp	70 (60-70)	2	4	Ja
702	Cirkulationsplats	70 (60-70)	2	4	Ja
703	Signalreglering	70 (60-70)	2	4	Ja
801	Väjning/stopp	50 (30-50)	2	4	Ja
802	Cirkulationsplats	50 (30-50)	2	4	Ja
803	Signalreglering	50 (30-50)	2	4	Ja
901	Väjning/stopp	50 (30-50)	4	2	Nej
902	Cirkulationsplats	50 (30-50)	4	2	Nej
903	Signalreglering	50 (30-50)	4	2	Nej
1001	Väjning/stopp	70 (60-70)	2	2	Nej
1002	Cirkulationsplats	70 (60-70)	2	2	Nej
1003	Signalreglering	70 (60-70)	2	2	Nej
1101	Väjning/stopp	40 (30-50)	2	2	Nej
1102	Cirkulationsplats	40 (30-50)	2	2	Nej
1103	Signalreglering	40 (30-50)	2	2	Nej
1201	Väjning/stopp	70 (60-70)	4	4	Nej
1202	Cirkulationsplats	70 (60-70)	4	4	Nej
1203	Signalreglering	70 (60-70)	4	4	Nej
1301	Väjning/stopp	50 (30-50)	4	4	Nej
1302	Cirkulationsplats	50 (30-50)	4	4	Nej
1303	Signalreglering	50 (30-50)	4	4	Nej
1401	Väjning/stopp	70 (60-70)	2	4	Nej
1402	Cirkulationsplats	70 (60-70)	2	4	Nej
1403	Signalreglering	70 (60-70)	2	4	Nej
1501	Väjning/stopp	50 (30-50)	2	4	Nej
1502	Cirkulationsplats	50 (30-50)	2	4	Nej
1503	Signalreglering	50 (30-50)	2	4	Nej

6.1. Antaganden om trafikförhållanden

Antaganden om flödesförhållanden anges i Tabell 6.2. Flödet för övriga tillfarter anges i relation till flödet på den aktuella tillfarten, där värdet 1,0 innebär lika stort flöde, ett mindre tal innebär ett lägre flöde och ett större tal innebär ett större flöde. Flödet på den motriktade tillfarten (C) antas för de överordnade kategorierna vara lika stort som flödet på tillfart A. För de underordnade kategorierna finns inte tillfart C eftersom beräkningarna görs för en trevägskorsning. Flödet för B och D har skattats för varje korsningsfördröjningskategori i Tabell 6.1 utifrån beräkningar baserade på en nätutläggning med Sampers med befintliga restidsfunktioner. Skattningen baserades på medelvärde över flödena för alla underordnade (överordnade) tillfarter för överordnade (underordnade) egen tillfart. Även svängandelarna har skattats utifrån samma nätutläggning. Svängandelarna återfinns i Tabell 6.3. För att säkerställa konsistens skulle dessa värden behöva tas fram genom en iterativ process där de skattade korsningsfördröjningsparametrarna används i en ny nätutläggning för att ta fram nya genomsnittliga svängandelar som sedan används för att skatta nya korsningsparametervärden och så vidare. Detta bedömdes dock vara för tidskrävande.

Tabell 6.2 Antaganden om flödesförhållanden.

Nr	Flöde övriga tillfarter (relativt A)		
	B	C	D
101	0,21	1,00	0,21
102	0,21	1,00	0,21
103	0,21	1,00	0,21
201	0,42	1,00	0,42
202	0,42	1,00	0,42
203	0,42	0,67	0,42
301	0,35	1,00	0,35
302	0,35	1,00	0,35
303	0,35	1,00	0,35
401	0,58	1,00	0,58
402	0,58	1,00	0,58
403	0,58	1,00	0,58
501	0,43	1,00	0,43
502	0,43	1,00	0,43
503	0,43	1,00	0,43
601	0,59	1,00	0,59
602	0,59	1,00	0,59
603	0,59	1,00	0,59
701	0,36	1,00	0,36
702	0,36	1,00	0,36
703	0,36	1,00	0,36
801	0,79	1,00	0,79
802	0,79	1,00	0,79
803	0,79	1,00	0,79
901	1,68	0,00	1,68
902	1,68	0,00	1,68
903	1,68	0,00	1,68
1001	1,85	0,00	1,85
1002	1,85	0,00	1,85
1003	1,85	0,00	1,85
1101	1,85	0,00	1,85
1102	1,85	0,00	1,85
1103	1,85	0,00	1,85
1201	1,45	0,00	1,45
1202	1,45	0,00	1,45
1203	1,45	0,00	1,45
1301	2,03	0,00	2,03
1302	2,03	0,00	2,03
1303	2,03	0,00	2,03
1401	2,75	0,00	2,75
1402	2,75	0,00	2,75
1403	2,75	0,00	2,75
1501	3,00	0,00	3,00
1502	3,00	0,00	3,00
1503	3,00	0,00	3,00

Tabell 6.3 Antaganden om svängandelar för högersväng (hsv), rakt fram (rfr) och vänstersväng (vsv).

Nr	Svängandelar Tillfart A			Svängandelar Tillfart B			Svängandelar Tillfart C			Svängandelar Tillfart D		
	hsv	rfr	vsv	hsv	rfr	vsv	hsv	rfr	vsv	hsv	rfr	vsv
101	0,00	0,90	0,10	0,50	0,00	0,50	0,10	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00
102	0,00	0,90	0,10	0,50	0,00	0,50	0,10	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00
103	0,00	0,90	0,10	0,50	0,00	0,50	0,10	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00
201	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
202	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
203	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
301	0,00	0,82	0,18	0,50	0,00	0,50	0,18	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00
302	0,00	0,82	0,18	0,50	0,00	0,50	0,18	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00
303	0,00	0,82	0,18	0,50	0,00	0,50	0,18	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00
401	0,00	0,72	0,28	0,50	0,00	0,50	0,28	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00
402	0,00	0,72	0,28	0,50	0,00	0,50	0,28	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00
403	0,00	0,72	0,28	0,50	0,00	0,50	0,28	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00
501	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
502	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
503	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
601	0,00	0,68	0,32	0,50	0,00	0,50	0,32	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00
602	0,00	0,68	0,32	0,50	0,00	0,50	0,32	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00
603	0,00	0,68	0,32	0,50	0,00	0,50	0,32	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00
701	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
702	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
703	0,00	0,78	0,22	0,50	0,00	0,50	0,22	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
801	0,00	0,64	0,36	0,50	0,00	0,50	0,36	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00
802	0,00	0,64	0,36	0,50	0,00	0,50	0,36	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00
803	0,00	0,64	0,36	0,50	0,00	0,50	0,36	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00
901	0,50	0,00	0,50	0,32	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,32
902	0,50	0,00	0,50	0,32	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,32
903	0,50	0,00	0,50	0,32	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,32
1001	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1002	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1003	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1101	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1102	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1103	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1201	0,50	0,00	0,50	0,38	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,38
1202	0,50	0,00	0,50	0,38	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,38
1203	0,50	0,00	0,50	0,38	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,38
1301	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1302	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1303	0,50	0,00	0,50	0,26	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,26
1401	0,50	0,00	0,50	0,20	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,20
1402	0,50	0,00	0,50	0,20	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,20
1403	0,50	0,00	0,50	0,20	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,20
1501	0,50	0,00	0,50	0,17	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,17
1502	0,50	0,00	0,50	0,17	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,17
1503	0,50	0,00	0,50	0,17	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,17

I Tabell 6.4 återfinns de antaganden som gjorts vad det gäller gång- och cykeltrafik och andel tung trafik. Gång- och cykeltrafik (GC) avser det sammantagna gång och cykelflöde som korsar en länk i samband med korsningen. GC-flödet för exempelvis länk A är det gång- och cykelflöde som korsar länk A. Lastbilsandelen baseras på det genomsnittliga värde för tätort som presenteras i Effektsamband för vägtransportsystemet (Trafikverket, 2014c).

För antagande om gångtrafikflöden har utgångspunkten varit de schabloner som används i Lill-EVA. De är uppdelade på hastighet, miljö och korsningstyp och avser dygnsvärden. Värdena är samma för de tre olika korsningstyperna som används i denna rapport. Vidare så finns det i Lill-EVA en uppdelning på vägmiljö och hastighetsgräns. Eftersom vägmiljön inte finns med som parameter i de 15 korsningsfördröjningsfunktionerna (se Tabell 6.1) så återstår bara hastighet som kriterium för att ange antal oskyddade trafikanter. Med de dygnssummor som kan utläsas ur Lill-EVA och med ett antagande av ca 10 % av dygnsflödet sker under maxtimmen så avrundades antalen till en passerande GC-trafikant per minut vid korsningar med 60-70 km/h och två GC-trafikanter per minut vid 40-50 km/h. Vidare antas att antalet fördelades jämnt på de olika länkbenen. Det är viktigt att komma ihåg att detta är schablonvärden som ska kunna gälla i alla miljöer. Dessa ligger förstås betydligt lägre än korsningar i det mest centrala delarna av en stad.

Tabell 6.4 Antaganden om korsande gång- och cykeltrafik och andel tung trafik.

Nr	Korsande gång- och cykeltrafik (flöde i antal/h)				Andel tung trafik
	A	B	C	D	
101	15	-	15	15	0,07
102	15	-	15	15	0,07
103	15	-	15	15	0,07
201	30	-	30	30	0,07
202	30	-	30	30	0,07
203	30	-	30	30	0,07
301	15	-	15	15	0,07
302	15	-	15	15	0,07
303	15	-	15	15	0,07
401	30	-	30	30	0,07
402	30	-	30	30	0,07
403	30	-	30	30	0,07
501	15	-	15	15	0,07
502	15	-	15	15	0,07
503	15	-	15	15	0,07
601	30	-	30	30	0,07
602	30	-	30	30	0,07
603	30	-	30	30	0,07
701	15	-	15	15	0,07
702	15	-	15	15	0,07
703	15	-	15	15	0,07
801	30	-	30	30	0,07
802	30	-	30	30	0,07
803	30	-	30	30	0,07
901	30	30	-	30	0,07
902	30	30	-	30	0,07
903	30	30	-	30	0,07
1001	15	15	-	15	0,07
1002	15	15	-	15	0,07
1003	15	15	-	15	0,07
1101	30	30	-	30	0,07
1102	30	30	-	30	0,07
1103	30	30	-	30	0,07
1201	15	15	-	15	0,07
1202	15	15	-	15	0,07
1203	15	15	-	15	0,07
1301	30	30	-	30	0,07
1302	30	30	-	30	0,07
1303	30	30	-	30	0,07
1401	15	15	-	15	0,07
1402	15	15	-	15	0,07
1403	15	15	-	15	0,07
1501	30	30	-	30	0,07
1502	30	30	-	30	0,07
1503	30	30	-	30	0,07

6.2. Antaganden om korsningsutformning

I Tabell 6.5 redovisas de antaganden som gjorts om antalet körfält för de olika tillfarterna, längd på växlingssträcka i cirkulationsplatser. Antaganden om längd på växlingssträckor är gjorda utifrån de data som finns redovisade i Aronsson och Bellinger (2005), Brodin et al. (2003), Larsson et al. (2005), Åkerström (2004) samt de standardkorsningar som finns i Capcal (Hagring, 2005).

Tabell 6.5 Antaganden om antal körfält och längd i meter på växlingssträcka i cirkulationsplats.

Nr	Antal körfält i tillfart				Längd växlingssträcka
	A	B	C	D	
101	4	2	4	2	25
102	4	2	4	2	25
103	4	2	4	2	25
201	4	2	4	2	25
202	4	2	4	2	25
203	4	2	4	2	25
301	2	2	2	2	20
302	2	2	2	2	20
303	2	2	2	2	20
401	2	2	2	2	20
402	2	2	2	2	20
403	2	2	2	2	20
501	4	4	4	4	30
502	4	4	4	4	30
503	4	4	4	4	30
601	4	4	4	4	30
602	4	4	4	4	30
603	4	4	4	4	30
701	2	4	2	4	25
702	2	4	2	4	25
703	2	4	2	4	25
801	2	4	2	4	25
802	2	4	2	4	25
803	2	4	2	4	25
901	4	2	4	2	25
902	4	2	4	2	25
903	4	2	4	2	25
1001	2	2	2	2	20
1002	2	2	2	2	20
1003	2	2	2	2	20
1101	2	2	2	2	20
1102	2	2	2	2	20
1103	2	2	2	2	20
1201	4	4	4	4	30
1202	4	4	4	4	30
1203	4	4	4	4	30
1301	4	4	4	4	30
1302	4	4	4	4	30
1303	4	4	4	4	30
1401	2	4	2	4	25
1402	2	4	2	4	25
1403	2	4	2	4	25
1501	2	4	2	4	25
1502	2	4	2	4	25
1503	2	4	2	4	25

7. Resulterande korsningsfördröjningsfunktioner

I Tabell 7.1 presenteras den initiala parameteruppsättningen som genererades utifrån de antaganden som presenterades i kapitel 6.

Tabell 7.1 Initial parameteruppsättning. Den geometriska restidsförläningen för korsningen $t_{fri,korsning}$ är angiven i s/korsning. Kapaciteten för korsningsdelen $K_{korsning}$ är angiven i fordon/timme/körfält.

Nr	Korsningsparametrar		
	$t_{fri,korsning}$ [sekunder]	J_A	$K_{korsning}$ [fordon/h/körfält)
101	0,4	0,10	731
102	9,9	0,74	1258
103	1,1	1,89	1040
201	0,4	0,13	663
202	6,4	0,66	1029
203	1,1	1,40	700
301	0,4	0,29	1175
302	9,6	0,09	1191
303	1,6	0,89	1050
401	0,4	0,23	1179
402	5,9	0,30	1087
403	1,6	1,76	888
501	0,9	0,20	590
502	9,4	0,38	1046
503	1,6	1,55	860
601	0,9	0,10	580
602	6,6	0,23	902
603	1,6	1,32	695
701	0,9	0,27	1103
702	9,4	0,15	1184
703	1,6	1,12	1151
801	1,1	0,18	1073
802	6,1	0,17	1025
803	1,6	1,63	917
901	5,1	0,06	197
902	6,1	0,59	775
903	3,1	0,87	230
1001	7,1	0,06	303
1002	8,9	0,30	605
1003	4,1	2,36	470
1101	5,1	0,08	329
1102	4,9	0,55	612
1103	2,1	1,00	410
1201	8,1	0,08	180
1202	9,1	0,15	540
1203	4,1	1,30	355
1301	5,1	0,07	170
1302	6,1	0,16	401
1303	3,1	1,26	300
1401	8,1	0,04	213
1402	9,1	0,05	501
1403	5,1	1,31	490
1501	5,1	0,05	235
1502	6,0	0,28	484
1503	4,1	2,64	510

8. Tillämpning av framtagna funktioner i Sampers

Tillämpningen av de framtagna restidsfunktionerna har gjorts i flera steg. Först genomfördes Sampersberäkningar för Samm-regionen (Stockholm och Mälardalen) med de parametervärden som presenteras i kapitel 7. Resultaten från dessa beräkningar redovisas i avsnitt 8.1. Baserat på resultatet från dessa initiala utvärderingar genomfördes en del justeringar av restidsfunktionerna och dess parametervärden, vilka beskrivs i avsnitt 8.2. Slutligen genomfördes ytterligare en omgång med nätutläggningar med de justerade restidsfunktionerna vilka beskrivs i avsnitt 8.3.

8.1. Initiala utvärderingar

8.1.1. Implementering av funktionerna i Sampers

Tillämpning av de skattade korsningsfördröjningsfunktionerna baserades på klassificering av noder och länkar m h a extra attributen som finns i IPA-nätet (se beskrivning i kapitel 3):

- VDF-index,
- lanes (antalet körfält),
- @hast (skyltad hastighet),
- @fvkl (funktionell vägklass),
- @ntyp (nodtyp).

För varje tätortslänk (det vill säga länkar med VDF-index mellan 19 och 32 eller mellan 65 och 76) som slutar i en plankorsning, det vill säga nodtyp = 1, 2 eller 3 bestämdes först om den aktuella länken (tillfarten) är över- eller underordnad övriga tillfarter till korsningen. För detta användes attributet funktionell vägklass med definitioner enligt NVDB och med heltäckande kodning på hela vägnätet. Det har värden från 0 (europeiska vägar) till 9 (små lokala gator). Tillfarten definierades som överordnad om dess funktionella vägklass hade det lägsta värdet av alla länkar som slutar i samma nod, annars räknades den som underordnad. För trevägskorsningar där alla tillfarter hade samma funktionella vägklass definierades underordnad tillfart som den för vilken vinkeln mellan de två andra tillfarterna var bredast. För överordnade (underordnade) tillfarter beräknades sedan maximala antalet körfält över alla underordnade (överordnade) tillfarter till samma nod. Utifrån nodtypen, antalet körfält, skyltad hastighet och antalet körfält på andra tillfarter kunde varje tätortslänk som slutar i en riktig korsning kopplas till en av de 45 korsningsfördröjningskategorierna i Tabell 6.1. Baserad på kategorinummer tilldelades sedan varje sådan länk parametrarna $t_{fri,korsning}$, J_A och C enligt Tabell 7.1.

På alla tätortslänkar skapades sedan uttrycken för restidsfunktion enligt formeln (1) som summan av två termer: länkrestiden baserad på VQ-samband och korsningsfördröjningen,

$$t(q, L) = \frac{L}{v_{VQ}(q)} + t_{korsning}(q), \tag{10}$$

där $t_{korsning}(q)$ beräknades enligt formeln (9) för alla tätortslänkar som slutar vid noder av typ 1, 2 eller 3 (se kapitel 3). För alla länkar som slutar vid nod av typ 5 (planskild korsning) beräknades korsningsfördröjningen $t_{korsning}(q)$ som deterministisk kötid det vill säga $30 \cdot \max(0, q/C - 1)$ minuter[7]. På alla andra länkar, det vill säga länkar inom tätort som slutar på splittrings- och stödnoder

[7] Denna kötid är ett specialfall av Akceliks funktion (9) med $t_{fri,korsning} = J_A = 0$.

(nodtyp = 6) och länkar utanför tätort som inte slutar på trafikplatser tillämpades först ingen korsningsfördröjning, $t_{korsning}(q) = 0$.

8.1.2. Resultat

Utvärderingen av de reviderade restidsfunktionerna gjordes utifrån överensstämmelse med räkningar, restider och respons på trängselskatt i Stockholm. Den startade med att de skattade restidsfunktionerna lästes in till EMME och Sampers kördes med markanvändning och socioekonomiska indata motsvarande år 2010 för regionen SAMM som omfattar Stockholms län och ytterligare fem län. Som vanligt kördes Sampers med 4 iterationer mellan nätverksutläggning och efterfrågeberäkning som brukar vara tillräckligt för att åstadkomma konvergens. Alltså påverkar restidsfunktionen inte bara hur trafikflödena fördelas på vägnätet men, genom resulterade restider mellan trafikzoner, även efterfrågan. Efter de första nätuläggningsexperimenten med de nya restidsfunktionerna upptäcktes obalans i ruttvalet mellan tätortslänkar och länkarna utanför tätort. Därför tillämpades i efterföljande försök ett schablonpåslag $t_{korsning} = 0{,}8 \cdot (q/C)^{1{,}2}$ på restiden på alla länkar utanför tätort, där konstanterna 0,8 och 1,2 kalibrerades för att återskapa uppmätta trafikflöden (se även beskrivningen i avsnitt 4.3.1).

Analys av resultat av utläggningen med dessa restidsfunktioner avslöjade att korsningsfördröjningen på vissa tillfarter blev extremt hög. En del av dessa extremt höga fördröjningar kunde förklaras med kodningsfel i antalet körfält på vissa länkar. Dock även efter felrättningar återstod ett tiotal tillfarter med mycket långa korsningsfördröjningar där inga eller relativt korta köer uppstår i verkligheten. En fördjupad analys av dessa korsningar, flöden och ruttval i området runtomkring resulterade i en slutsats att kapaciteten på dessa korsningar var underskattad jämfört med verkligheten. Detta innebär inte att kapaciteten generellt var för låg för respektive kategori av tillfarter. Däremot avviker utformning, konflikterande flöden och/eller antalet svängfickor från de antaganden som gjordes för att genomföra skattningar i Capcal för respektive typer av korsningar. Det vill säga den specifika korsningens utformning och trafikförhållanden ligger långt ifrån den typiska utformning och trafikförhållande som antagits för den kategori som länken tillhör. Baserat på detta infördes ett golv för kapaciteten *C* som en faktor av länkkapaciteten enligt VQ-sambandet med motivet att i verkligheten så utformas korsningar i så stor utsträckning som möjligt så att kapaciteten är tillräckligt stor utifrån det behov som finns. Även andra anpassningar testades men detta gav inte signifikant bättre uppskattning av restider eller ruttvalet, dessutom blev överenstämmelsen mot medelresehastigheter baserade på restidskameramätningar i Stockholm sämre. Vår uppfattning är att kapaciteten på tillfarter har mycket stor variation som är svårt att förklara med de data som vi har i IPA-vägnätet.

8.2. Transformationer och efterjusteringar av korsningsfördröjningsfunktionerna

För att minska påverkan av avvikelser för enskilda länkar jämfört med den genomsnittliga utformningen och trafikförhållanden för korsningsfunktionskategorins omdefinierades restidsfunktionerna för tätort som i formel (2) enligt följande:

$$t(q, L) = \frac{L}{v_{VQ}(q)} + L \cdot h \cdot t_{korsning}(q), \qquad (11)$$

där h är korsningstäthet det vill säga antalet noder av typ 1, 2, 3 eller 5 per km av länk med specifik VDF-index och $t_{korsning}(q)$ är den genomsnittliga korsningsfördröjningen för sådana länkar enligt ekvation (9). Detta innebär att korsningsfördröjningen ”smetas ut” längs alla länkar som tillhör

respektive VDF[8]. För att beräkna h för en visst VDF-index beräknades en kvot med täljaren som antalet länkar med detta VDF-index som slutar i nod av typ 1, 2, 3 eller 5 och med nämnaren som den sammanlagda längden av alla länkar med detta VDF-index. Den genomsnittliga korsnings-fördröjningen beräknas enligt formeln (9) med parametrar $t_{fri,korsning}$, J_A och $K_{korsning}$ som viktade medelvärden över respektive parametervärden enligt tabell 10 i alla tillfarter som har respektive VDF-index. För att undvika extremt låga kapaciteter tillämpades vidare ett golv på kapaciteten $K_{korsning}$ lika med 0,8 gånger länkkapaciteten i VQ-sambandet. Vidare anpassades parametrarna så att de blev konsistenta inom varje grupp av VDF-index, till exempel att kapaciteten inte sjunker och friflödesrestid inte ökar när antalet körfält eller skyltad hastighet byts till högre värde, allt annat lika. Resultat av utläggning med dessa ”utsmetade” korsningsfördröjningar jämfördes med tillgängliga data om flöden och restider under förmiddagens maxtimme i Stockholm. Det konstaterades att restiderna var generellt för korta. Detta kan troligen förklaras av att medelvärdesbildningen av parametrar vilkas påverkan på restiden inte är linjär gav för höga värden. Sista justering innebar därför att korsningsfördröjningar i tätortsfunktionerna multiplicerades med 4. Denna modellkonstruktion resulterade i ungefär rätt nivå på restider i Stockholm.

Även för restidsfunktioner som tillämpas utanför tätorter spreds korsningsfördröjningar ut. Detta resulterade i uttrycket

$$t(q,L) = \frac{L}{v_{VQ}(q)} + 15 \cdot max(0, q/K_{länk} - 1) + L \cdot f_{landsväg} \cdot (q/K_{länk})^{1,2}, \qquad (12)$$

där första termen är länkrestid baserad från VQ-samband (tillämpas upp till kapaciteten, sedan konstant hastighet), den andra termen är den (halverade) deterministiska kötiden för att komma in på länken, och den tredje termen är en schablonmässig korsningsfördröjning där faktorn $f_{landsväg} = 0{,}85$ för alla icke-tätorts-funktioner (VDF-index 10-18 och 33-64) utom motorvägar med skyltad hastighet över 80 km/h (VDF-index 1-9) där $f_{landsväg} = 0{,}4$. Valet av dessa parametrar gjordes utifrån jämförelse av nätutläggningsresultaten med trafikräkningar.

En komplett sammanställning av de slutliga parametervärdena återfinns i Bilaga 1.

8.3. Utvärdering av justerade korsningsfunktioner

För att validera de nya restidsfunktionerna har Sampers körts dels för basåret 2010 dels för basåret 2014. Körningen för basåret 2010 gjordes med den Sampers-riggning som gällde från 2015-04-01. Denna riggning använde restidsfunktioner baserade på VQ-samband med ett schablonpåslag $0{,}88 * (q/K_{länk})^{1,2}$ (oberoende av längden på länken) och geografiska/socioekonomiska indata (befolkning, sysselsättning osv) för år 2010. Körningen för basåret 2014 gjordes med likadan riggning men med de nya restidsfunktionerna beskrivna i avsnitt 8.2 och med geografiska/socioekonomiska indata för år 2014.

Riggningen omfattar en körning av den nationella modellen och en körning av alla fem regionala modeller. I en regional modell körs fyra iterationer av efterfrågemodellen och utläggning för förmiddagens högtrafik och (bara för regionerna Samm och Väst) lågtrafik. Bilrestid och bilresekostnad som resulterar från utläggningen, viktad med restiden och resekostnaden från föregående iteration (method of successive averages, MSA) går in som input till efterfrågemodellen i nästa iteration. På slutet görs utläggning för regionerna Samm och Väst även för eftermiddagens högtrafik och för nattperiod och trafikflöden som resulterar från de fyra perioder viktas ihop till ett

[8] Se diskussion om fördelar och nackdelar med denna metod i sektion 4.1.

totalt flöde under ett årsmedeldygn. För de andra tre regionerna läggs hela bilresematrisen för årsmedeldygn ut med restidsfunktioner där trafikflödet på länken skalas ner med faktorn 0,07 som representerar andelen av dygnsflödet som sker under en representativ timme.

För att jämföra resultat av modellen med räkningar har vi genomfört en regressionsanalys med räkningar som oberoende variabel och modellresultat som beroende variabel. Som resultat från regressionsanalysen visas N (antalet observationer), A (intercept), B (lutning) och R^2 där R är korrelationskoefficienten. Av Tabell 8.1 nedan framgår ganska tydligt att 2014-prognoserna ger bättre överensstämmelse med valideringsdata för dygntrafikflöden för både personbilar och lastbilar än 2010-prognos. Detta beror dels på uppdaterade befolknings- och makroekonomiska data och dels på förbättrade v/d-funktioner.

Tabell 8.1 Regressionsanalys för antalet fordon under årsmedeldygn. Trafikflödet (årsmedeldygn) beräknad med Sampers i basprognosen för 2010 och i basprognosen för 2014 (nya restidsfunktioner) jämfört med räkningar för respektive år.

		Personbilar				Lastbilar			
Region	**Basåret**	**N**	**A**	**B**	**R2**	**N**	**A**	**B**	**R2**
Palt	2014	24578	16	1,005	0,890	22669	2	0,852	0,890
Palt	2010	24559	106	0,847	0,867	22828	7	0,741	0,863
Samm	2014	18102	-52	0,943	0,914	15922	-21	0,999	0,873
Samm	2010	18632	37	0,979	0,909	16011	-10	0,864	0,884
Skåne	2014	13626	-66	1,054	0,912	11433	8	0,976	0,923
Skåne	2010	13740	58	0,939	0,900	11389	7	0,864	0,919
Sydost	2014	19765	100	0,890	0,892	16621	3	0,921	0,922
Sydost	2010	19674	135	0,787	0,883	16413	-1	0,851	0,914
Väst	2014	23439	140	0,866	0,883	19548	-5	0,916	0,930
Väst	2010	23394	200	0,767	0,884	19828	2	0,814	0,917

För att validera de nya restidsfunktionerna med avseende på åtgärd i trafiksystemet har Samm modellen körts med och utan trängselskatt. Efterfrågemodellen och utläggning har körts i fem iterationer. Jämförelsen gjordes för förmiddagens maxtimme under vintervardagsmedeldygn.

Enligt modellen minskade trafikflödet genom portalerna från 45 270 fordon/timme till 39 727 det vill säga med 12% medan summan av restider på rutter där Stockholm stad har restidskameror har minskat från 298 till 271 minuter det vill säga med 10%. I verkligheten minskade både flödet och restiden med 13%.

En äldre version av modellen (2003) visade flödesminskning med 29% och restiden med 5%. En senare version av modellen (med justerade tidsvärden) visade mindre flödesminskning och mindre restidsminskning (Engelson och van Amelsfort, 2015).

Denna grova validering visar att elasticitet av restider med avseende på flöden har kommit betydligt närmare den observerade elasticiteten (i genomsnitt) med de nya restidsfunktionerna.

9. Diskussion kring aspekter att beakta vid framtagning av restidsfunktioner

Vid framtagning av restidsfunktioner behöver ett antal olika aspekter beaktas. Baserat på erfarenheterna från detta projekt och tidigare projekt (Matstoms et al., 1996, Matstoms, 2004, Janson Olstam och Matstoms, 2006, Janson Olstam och Matstoms, 2007) har vi nedan försökt sammanställa vilka aspekter som behöver beaktas och för- och nackdelar med olika sätt att ta hänsyn till dessa aspekter

Vägnätsklassificering

Hur många väglänkklasser som används har betydelse både för möjligheten att representera vägnätet som modelleras på ett bra sätt samt möjligheten att kalibrera parametrarna i restidsfunktionerna. Få länkklasser (som till exempel i TU71 (Jonsson, 1995, Jonsson, 1988) och TU06 (Janson Olstam och Matstoms, 2006)) gör det "lätt" att välja länkklass då det finns få alternativ att välja på. Dock finns risk för att spridning i utformning, trafikförhållanden och förarbeteende inom varje klass är stor. Många länkklasser (som till exempel förslaget i Janson Olstam och Matstoms (2007) och Effektsamband för vägtransportsystemet (Trafikverket, 2014c)) ger normalt mindre spridning i utformning, trafikförhållanden och förarbeteende inom varje klass. Skattning av en uppsättning av restids-funktioner med många länkklasser kräver dock tillgång till omfattande kalibreringsdata.

Representation av korsningsfördröjning i den matematiska funktionen

Hur korsningsfördröjningen läggs till i restidsfunktionen påverkar dels funktionens transparens och dels antalet parametrar och därmed behovet av kalibreringsdata. En funktionsform där det endast finns en fördröjningsterm (till exempel TU71 (Jonsson, 1995, Jonsson, 1988), TU06 (Janson Olstam och Matstoms, 2006)), och BPR (Bureau of Public Roads, 1964)) ger ingen tydlig fördelning av vilka termer som beskriver länk- respektive korsningsfördröjning. Alternativet är en tvådelad restidsfunktion med en del som beskriver länkfördröjning och en del som beskriver korsningsfördröjning (som till exempel i Janson Olstam och Matstoms (2007)). Detta ger en mer tydlig och flexibel funktion kan anpassas till olika kombinationer av länkar och korsningar. Dock krävs generellt sett mer dissaggregerad kalibreringsdata.

Tvådelad restidsfunktion

En tvådelad restidsfunktion som har en term som beskriver länkrestiden och en som beskriver korsningstiden ger som sagt en mer flexibel funktion som möjliggör olika tillämpningar och angreppssätt. Till exempel finns med detta upplägg möjligheten att tillämpa korsningstiden endast på länkar som slutar i en korsning. Fördelen med detta är att korsningsfördröjningen placeras i korsningen som orsakat fördröjningen och inte någon annanstans. Nackdelen är att detta ställer stora krav på att länkar och noder är korrekt representerade, vilket innebär en ökad känslighet för fel kapacitet eller korsningstyp.

Alternativet är att tillämpa korsningsfördröjningen på alla länkar oavsett om de slutar i en korsning eller inte. Detta måste förstås görs som ett genomsnittligt påslag baserat på i vilken utsträckning det förekommer korsningar längs med en väg. Nackdelen med att smeta ut korsningsfördröjningen över samtliga väglänkar är att fördröjningen på länkar som slutar i en korsning underskattas och fördröjningen på länkar som inte slutar i en korsning överskattas. Fördelen är en minskad känslighet för kodningsfel eftersom eventuella fel smetas ut över en längre sträcka

Datainsamling

För att skatta restidsfunktioner krävs både data om trafikflöden och restid (alternativt medelhastighet). Då trafikflöde mäts i snitt och restid över en sträcka finns en inbyggd svårighet i att samla in nödvändig data för skattning av restidsfunktioner. För punktmätningar av flöde och hastighet finns det relativt gott om välutvecklade och välprövade mättekniker (slang, MCS, induktiva detektorer). För

mätning av restid över en sträcka är utbudet av mättekniker mer begränsat men under utveckling. I dagsläget görs exempelvis restidsmätningar över längre sträckor/rutter med ANPR (Automatic Number Plate Registration). Nedan följer en uppräkning av olika tekniker och deras styrkor och svagheter utifrån möjligheten att generera kalibreringsdata till restidsfunktioner.

- Automatic Number Plate Registration (ANPR)
    - Fördel: bra skattning av restid för en given rutt, fångar upp alla som kört från kamera A till B (om fordon i alla körfält registreras)
    - Nackdel: dyrt och oflexibelt. Data från kameror som används för att mäta restid på en rutt som består av flera väglänkar inom olika länkklasser eller med korsningar emellan kan inte användas eftersom data om restid och flöde per länk behövs.
- Manuella nummerskyltsmätningar
    - Fördel: Mer flexibelt än ANPR
    - Nackdel: Kräver mycket personella resurser
- Punktmätning med slang/MCS/induktiv detektor/etc.
    - Fördel: konsistenta data mellan flöde och hastighet
    - Nackdel: Kräver antagande om att förarna håller uppmätt hastighet under hela väglänken, vilket inte alltid är fallet, till exempel före och efter korsningar.
- Floating car mätningar i kombination med punktmätning med slang/MCS/induktiv detektor/etc.
    - Fördel: Flöde mäts i punkter längs med mätsträckan och restid mäts över hela sträckan
    - Nackdel: Endast ett restidssampel från floating car fordonet, det vill säga inte mätning av samtliga fordons restid. För bästa resultat krävs flödesmätning efter varje korsning eller tätare, som är dyrt
- Mätning med hjälp av bluetooth
    - Fördel: Relativt billig teknik
    - Nackdel: Fångar bara upp de som har bluetooth aktiverat (~10-20 %), viss osäkerhet i tidstämplar gör det mindre lämpligt på korta sträckor.
- Videomätning från höga byggnader
    - Fördel: Mätning av alla fordons restider samt trafikflödet
    - Nackdel: Svårt att hitta plats att placera kamera och oftast svårt att täcka en tillräckligt stor sträcka. Kräver mer avancerad databearbetning med hjälp av programvara för extrahering av fordonsbanor från video.
- Videomätning från luften
    - Fördel: Mätning av alla fordons restider samt trafikflödet
    - Nackdel: Dyrt samt kräver mer avancerad databearbetning med hjälp av programvara för extrahering av fordonsbanor från video.

Praktiska aspekter och användarperspektiv

Efter framtagandet av en uppsättning restidsfunktioner ska dessa också underhållas och uppdateras. Funktioner som tillämpar separat korsningsfördröjning endast på väglänkar som slutar i en faktisk

korsning kräver att nätet kontinuerligt uppdateras när korsningar tillkommer, tas bort eller förändras (till exempel om reglering eller över/underordnad förhållande ändras). Användning av sådana funktioner behöver även förmakron som beräknar parametervärden för olika tillfarter beroende på nodtyper och egenskaper av alla inkommande länkar. Dessa makron behöver köras även för att kunna göra utläggningar med EMME/VISUM utan att köra Sampers.

Noder behövs inte enbart för att representera korsningar utan även för att markera förändringar i vägegenskaper som till exempel skyltad hastighet, tillhörighet till en viss kommun, tätort eller vägkategori (så kallade ”stödnoder”; se kapitel 3). Restidsfunktioner som innehåller en separat term för korsningsfördröjning kräver noggrann information om var korsningar finns och av vilken typ. Sådana restidsfunktioner är känsliga för skillnader mellan stödnoder och riktiga korsningar med underordnade väglänkar som tagits bort vid bearbetning av vägnät från NVDB till EMME. Möjligheten att särskilja mellan sådana noder är dock begränsad i EMME vägnätet.

10. Slutsatser och förslag till fortsatt arbete

Restidsfunktioner utgör ett viktigt samband för statiska nätverksutläggningar av trafiken. Samtidigt finns det ingen etablerad metod för att skatta sådana funktioner. Funktionerna används i strategiska modeller där man försöker uppskatta restidsvinster av investeringar i transportsystemet och ekonomiska styrmedel på en översiktlig nivå, utan att precisera utformning av specifika vägar och korsningar. Det är uppenbart att det finns ett positivt samband medan efterfrågan på bilresor och restiden på varje väglänk och korsning, allt annat lika. Samtidigt är det uppenbart att formen av sambandet beror på många detaljer som är väldigt svårt att ta hänsyn till i en strategisk modell. Exempel på sådana detaljer är andel gröntid, antalet och längden av svängfickor, deras fördelning på riktningar, intensitet av konflikterande trafikströmmar och gång- och cykelflöden. Alla dessa detaljer varierar starkt mellan korsningar och över tid men kan kraftigt påverka tillfartens kapacitet och restiden. Därför är det svårt att utveckla en uppsättning restidsfunktioner som ska kunna användas i hela landet över en hel planeringshorisont på upp till 50 år.

Ett viktigt villkor vid framtagandet av restidsfunktioner är att de ska vara kopplade till gällande vägnätsklassificering. Med utgång från detta har vi inom projektet försökt att komplettera de befintliga VQ-sambanden med korsningsfördröjningar. Det visade sig vara mycket svårt att utveckla robusta och verklighetsnära samband mellan trafikflöden och korsningsfördröjningar. Man behövde göra grova förenklingar, justeringar och anpassningar för att få dessa samband fungera i modellen. Resultat av arbetet kan betraktas som tillfredställande på kort sikt men har alltför svag empirisk anknytning.

Nya restidsfunktioner behöver därför tas fram både för stadsmiljö och för landsbygden. I ett sådant arbete bör man också se över vilka ytterligare variabler som har betydelse för ruttval och hastigheter, exempelvis vägvisning, komfortfaktorer, automatisk kameraövervakning (ATK), störningar i tätortsmiljöer etc. Det är dock av stor vikt att värden på variabler som används i restidsfunktionerna ska vara tillgängliga för nuläget och i prognoser. Framtagning av funktionerna bör omfatta följande steg

- en förstudie som beskriver internationellt state-of-practice och rekommenderar typ av funktioner samt ett sätt att samla data för skattningen kompatibelt med etablerad klassning av vägar och med tillgänglig information om vägar i NVDB
- insamling av data som omfattar både trafikflödet och restiden på ett noga utarbetat urval av vägar
- skattning av restidsfunktioner baserad på kurvanpassning och etablerade samband mellan vägegenskaper och resehastigheter
- tester av restidsfunktioner i nätutläggningar och justeringar

Referenser

Akcelik & Associates Pty Ltd. 2006. *SIDRA Intersection* [Online]. Akcelik & Associates Pty Ltd. Tillgänglig: http://www.sidrasolutions.com/sidra/index.htm [Åtkommen 26 oktober 2006].

Akcelik, R. 1981. Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Research Report ARR No. 123. Australien: Australian Road Research Board.

Akcelik, R. 1991. Travel time functions for transport planning purposes: Davidson's function, its time dependent form and an alternate travel time function. *Australian Road Research,* 21**,** 49-59.

Aronsson, A. & Bellinger, A. 2005. *Utvärdering av Capcals förmåga att beräkna framkomlighet.* Exjobb, Linköpings universitet.

Brodin, S., Johansson, K., Norberg, L. & Kyösti, V. 2003. *Cirkulationsplats - Björkskataleden/Porsövägen.* Exjobb, Luleå Tekniska Högskola.

Bureau of Public Roads 1964. Traffic Assignment Manual. Washington D.C., USA: U.S. Dept. of commerce, Urban Planning Division.

Caliper 2009. TransModeler User's Guide – Version 2.5 Build 980. Caliper Corporation.

Casas, J., Ferrer, J. L., Garcia, D., Perarnau, J. & Torday, A. 2010. Traffic Simulation with AIMSUN. *In:* BARCELÓ, J. (ed.) *Fundamentals of traffic simulation.* 1st ed. New York.: Springer Science+Business Media, LCC.

Engelson, L. & Van Amelsfort, D. 2015. The role of volume-delay functions in forecasting and evaluating congestion charging schemes: the Stockholm case. *Transportation Planning and Technology,* 38**,** 684-707.

Fellendorf, M. & Vortisch, P. 2010. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. *In:* BARCELÓ, J. (ed.) *Fundamentals of traffic simulation.* 1st ed. New York.: Springer Science+Business Media, LCC.

Hagring, O. 2005. CAPCAL 3.2 - Användarhanledning *(User manual, in Swedish)*. Lund: Trivector Traffic AB.

Inro. 2006a. *The EMME/2 Transportation Planning Software: Modelling and Analysis Features* [Online]. INRO. Tillgänglig: http://www.inro.ca/en/products/emme2/e2fea.pdf [Åtkommen 21 december 2006].

Inro 2006b. EMME/2 User Manual: INRO.

Janson Olstam, J. & Matstoms, P. 2006. TU06 - Nya V/D-funktioner för tätort - Revidering av TU71-funktionerna, VTI Rapport 550. Linköping: VTI.

Janson Olstam, J. & Matstoms, P. 2007. Nya V/D-funktioner på väg : preliminära funktioner för tätortsmiljöer baserade på ny metod, 0347-6030. Linköping: VTI., VTI rapport 571.

Jonsson, S. 1988. Volume/delayfunktioner. Stockholm: Regionplane- och trafikkontoret.

Jonsson, S. 1995. Kort beskrivning av V/D-funktioner för tätortsgator och -vägar baserade på nätmaterialet i TU71. Stockholm: Regionplane- och trafikkontoret.

Larsson, M., Mosesson, M. & Gustavsson, T. 2005. *Cirkulationsplats Moråsleden/Garnisonsgatan.* Exjobb, Luleå Tekniska Högskola.

Linse, L., Bergman, A., Nordström, A., Allström, A. & Hagring, O. 2013. Capcal 4.0 - Användarhandledning, Rapport 2013:87. Lunsd: Trivector.

Mahut, M. & Florian, M. 2010. Traffic Simulation with Dynameq. *In:* BARCELÓ, J. (ed.) *Fundamentals of traffic simulation.* 1st ed. New York.: Springer Science+Business Media, LCC.

Matstoms, P. 2004. Om utformning av V/D-funktioner för tätort (on design of V/D-functions for urban environments, in Swedish), VTI notat 14-2004. Linköping: VTI.

Matstoms, P., Jönsson, H. & Carlsson, A. 1996. Beräkning av volume/delay-funktioner för nätverksanalys, VTI meddelande 777. Linköping: VTI.

Olstam, J., Carlsson, A. & Yahya, M.-R. 2013. Hastighetsflödessamband för svenska typvägar - Förslag till reviderade samband baserat på TMS-mätningar från 2009-2011. VTI rapport 784. Linköping: VTI.

Ptv 2006a. VISUM 9.4, Karlsruhe, Germany. http://www.english.ptv.de/cgi-bin/traffic/traf_visum.pl

Ptv 2006b. VISUM 9.4 User manual. Karlsruhe, Germany: PTV.

Rouphail, N., Tarko, A. & Li, J. 1992. Traffic flow at signalized intersections. *In:* GARTNER, N. H., MESSER, C. J. & RATHI , A. (eds.) *Traffic Flow Theory - A State-of-the-art report.* FHWA.

Spiess, H. 1990. Conical Volume-Delay Functions. *Transportation Science*, 24.

Trafikverket 2012. EVA (Effekter vid väganalyser), Borlänge: Trafikverket. http://www.trafikverket.se/Foretag/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/Prognos--och-analysverktyg/Fliksida---verktyg/EVA/

Trafikverket 2014a. Dataproduktspecifikation – Korsning, Version 2.0. Borlänge: Trafikverket, Väg- och järnvägsdata.

Trafikverket 2014b. Kapitel 4 Tillgänglighet, Effektsamband för transportsystemet - Bygg om eller bygg nytt. Version 2014-04-01. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket 2014c. TRVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter - Trafikverkets metodbeskrivning för beräkning av kapacitet och framkomlighetseffekter i vägtrafikanläggningar, TRV 2013:64343. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket 2015. Kapitel 2 Vägtyper, korsningar och förbättringsåtgärder, Effektsamband för transportsystemet - Bygg om eller bygg nytt. Version 2015-04-01. Borlänge: Trafikverket.

Transek 2001. SAMPERS - Systembeskrivning. Transek AB.

Transportation Research Board 2010. HCM2010 - Highway Capacity Manual. Volume 1: Concepts. Washington D.C., USA: Transportation Research Board.

Treiber, M. & Kesting, A. 2013. *Traffic Flow Dynamics - Data, Models and Simulation*, Springer.

Tss-Transport Simulation Systems 2015. Aimsun 8. Barcelona: TSS-Transport Simulation Systems.

Wardrop, J. G. Some theoretical aspects of road traffic research. the Institute of Civil Engineers, 1952. 325-378.

Webster, F. V. 1958. Traffic signal settings, Road Research Technical Paper No. 39. London, UK.: Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office.

Vägverket 1995a. CAPCAL 2 - Model description for intersections with signal control. Borlänge: Vägverket.

Vägverket 1995b. CAPCAL 2 - Model description for intersections without signal control. Borlänge: Vägverket.

Åkerström, E. 2004. *Korsningen Industrigatan-Östgötagatan i Linköping - analys och åtgärder*. Exjobb, Linköpings universitet.

Bilaga 1 Slutlig funktionsuppsättning i EMME format

Nedan finns en sammanställning av de slutliga restidsfunktionerna för personbilar i EMME-format. Funktionsnummer är samma som i Tabell 3.1 - Tabell 3.3. Förutom variablerna *volau* (flöde per länk i fordon/h) och *length* (länklängden i km) ingår parametern *ul1* som är 1 för alla länkar med undantag för sådana där kapaciteten behöver justeras i relation till den som anges i respektive VQ-samband. Till exempel används $ul1 = 1.1$ för länkar med 4 körfält i en riktning eftersom motsvarande länkklass förutsätter 3 körfält i varje riktning. Funktionerna beräknar restid i minuter.

```
t functions
a fd1 = 60*length / (
  116-0.000053*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1872 .max.0)*-0.00608
 + (get(1)-3328 .max.0)*-0.034696
 .max.73  ) +(15*(put(get(1)/4160)-1).max.0)+0.4*length*get(2)^1.2

a fd2 = 60*length / (
  109-0.000036*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2800 .max.0)*-0.004097
 + (get(1)-4592 .max.0)*-0.027609
 .max.69.5  ) +(15*(put(get(1)/5600)-1).max.0)+0.4*length*get(2)^1.2

a fd3 = 60*length / (
  109-0.000053*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1872 .max.0)*-0.005032
 + (get(1)-3328 .max.0)*-0.03337
 .max.69.5  ) +(15*(put(get(1)/4160)-1).max.0)+0.4*length*get(2)^1.2

a fd4 = 60*length / (
  103-0.000036*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2800 .max.0)*-0.003371
 + (get(1)-4592 .max.0)*-0.026648
 .max.66.5  ) +(15*(put(get(1)/5600)-1).max.0)+0.4*length*get(2)^1.2

a fd5 = 60*length / (
  103-0.000053*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1872 .max.0)*-0.00414
 + (get(1)-3328 .max.0)*-0.032219
 .max.66.5  ) +(15*(put(get(1)/4160)-1).max.0)+0.4*length*get(2)^1.2

a fd6 = 60*length / (
  94-0.000036*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2800 .max.0)*-0.002654
 + (get(1)-4592 .max.0)*-0.024969
 .max.61.2  ) +(15*(put(get(1)/5600)-1).max.0)+0.4*length*get(2)^1.2

a fd7 = 60*length / (
  94-0.000053*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1872 .max.0)*-0.003257
 + (get(1)-3328 .max.0)*-0.030199
 .max.61.2  ) +(15*(put(get(1)/4160)-1).max.0)+0.4*length*get(2)^1.2
```

```
a fd8 = 60*length / (
  85-0.000035*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2856 .max.0)*-0.00194
 + (get(1)-4648 .max.0)*-0.023613
 .max.57  ) +(15*(put(get(1)/5600)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd9 = 60*length / (
  85-0.000053*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1886 .max.0)*-0.002414
 + (get(1)-3321 .max.0)*-0.028804
 .max.57  ) +(15*(put(get(1)/4100)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd10 = 60*length / (
  77-0.000036*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2754 .max.0)*-0.00168
 + (get(1)-4536 .max.0)*-0.022752
 .max.52.7  ) +(15*(put(get(1)/5400)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd11 = 60*length / (
  77-0.000056*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1794 .max.0)*-0.002123
 + (get(1)-3198 .max.0)*-0.027937
 .max.52.7  ) +(15*(put(get(1)/3900)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd12 = 60*length / (
  107-0.000053*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1872 .max.0)*-0.004902
 + (get(1)-3328 .max.0)*-0.032527
 .max.68.5  ) +(15*(put(get(1)/4160)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd13 = 60*length / (
  101-0.000053*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1872 .max.0)*-0.004023
 + (get(1)-3328 .max.0)*-0.031338
 .max.65.5  ) +(15*(put(get(1)/4160)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd14 = 60*length / (
  92-0.000053*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1872 .max.0)*-0.003154
 + (get(1)-3328 .max.0)*-0.029281
 .max.60.2  ) +(15*(put(get(1)/4160)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd15 = 60*length / (
  82-0.000039*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2538 .max.0)*-0.004663
 + (get(1)-3901 .max.0)*-0.025948
 .max.51  ) +(15*(put(get(1)/4700)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2
```

```
a fd16 = 60*length / (
  80-0.000059*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1700 .max.0)*-0.002261
 + (get(1)-2890 .max.0)*-0.043053
 .max.54  ) +(15*(put(get(1)/3400)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd17 = 60*length / (
  72-0.000039*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2585 .max.0)*-0.004275
 + (get(1)-3948 .max.0)*-0.022308
 .max.46  ) +(15*(put(get(1)/4700)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd18 = 60*length / (
  71-0.000059*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1700 .max.0)*-0.001798
 + (get(1)-2890 .max.0)*-0.03479
 .max.50  ) +(15*(put(get(1)/3400)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd19 = 60*length / (
  71+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1700 .max.0)*-0.001941
 + (get(1)-2890 .max.0)*-0.034706
 .max.50)+60*length*1.325*
 (0.026/15+put(get(1)/2720-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.34*(get(2)+1)/2720))

a fd20 = 60*length / (
  70+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.006469
 + (get(1)-2460 .max.0)*-0.032031
 .max.43)+60*length*1.798*
 (0.048/15+put(get(1)/2400-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.305*(get(2)+1)/2400))

a fd21 = 60*length / (
  67+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1400 .max.0)*-0.006674
 + (get(1)-2296 .max.0)*-0.033048
 .max.41)+60*length*1.798*
 (0.059/15+put(get(1)/2240-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.697*(get(2)+1)/2240))

a fd22 = 60*length / (
  62.5+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2576 .max.0)*-0.003476
 + (get(1)-3910 .max.0)*-0.015165
 .max.45)+60*length*2.025*
 (0.01/15+put(get(1)/3680-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.515*(get(2)+1)/3680))
```

```
a fd23 = 60*length / (
  62.5+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1581 .max.0)*-0.004942
 + (get(1)-2573 .max.0)*-0.02086
 .max.44)+60*length*2.025*
 (0.067/15+put(get(1)/2480-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.612*(get(2)+1)/2480))

a fd24 = 60*length / (
  61+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1479 .max.0)*-0.005426
 + (get(1)-2407 .max.0)*-0.022901
 .max.42)+60*length*2.651*
 (0.049/15+put(get(1)/2320-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.362*(get(2)+1)/2320))

a fd25 = 60*length / (
  58+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1377 .max.0)*-0.005521
 + (get(1)-2241 .max.0)*-0.023303
 .max.40)+60*length*2.651*
 (0.049/15+put(get(1)/2160-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.362*(get(2)+1)/2160))

a fd26 = 60*length / (
  53+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-2610 .max.0)*-0.002175
 + (get(1)-3892.5 .max.0)*-0.008047
 .max.44)+60*length*2.545*
 (0.031/15+put(get(1)/3600-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.831*(get(2)+1)/3600))

a fd27 = 60*length / (
  53+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1590 .max.0)*-0.00328
 + (get(1)-2535 .max.0)*-0.011558
 .max.43)+60*length*2.842*
 (0.038/15+put(get(1)/2400-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.574*(get(2)+1)/2400))

a fd28 = 60*length / (
  52+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1484 .max.0)*-0.003866
 + (get(1)-2366 .max.0)*-0.013622
 .max.41)+60*length*2.9*
 (0.042/15+put(get(1)/2240-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.58*(get(2)+1)/2240))

a fd29 = 60*length / (
  47+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1166 .max.0)*-0.005368
 + (get(1)-1859 .max.0)*-0.018914
 .max.35)+60*length*2.9*
 (0.053/15+put(get(1)/1760-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.385*(get(2)+1)/1760))
```

```
a fd30 = 60*length / (
  45+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1485 .max.0)*-0.00325
 + (get(1)-2322 .max.0)*-0.010719
 .max.37)+60*length*3.125*
 (0.058/15+put(get(1)/2160-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.567*(get(2)+1)/2160))

a fd31 = 60*length / (
  42+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1375 .max.0)*-0.00351
 + (get(1)-2150 .max.0)*-0.011576
 .max.34)+60*length*3.12*
 (0.041/15+put(get(1)/2000-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.533*(get(2)+1)/2000))

a fd32 = 60*length / (
  41+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1210 .max.0)*-0.004487
 + (get(1)-1892 .max.0)*-0.014799
 .max.32)+60*length*3.12*
 (0.054/15+put(get(1)/1760-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.392*(get(2)+1)/1760))

a fd33 = 60*length / (
  103-0.000092*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1083.75 .max.0)*-0.000933
 + (get(1)-1300 .max.0)*-0.001662
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.460131
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd34 = 60*length / (
  103-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.00744
 + (get(1)-750 .max.0)*-0.001475
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.248546
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd35 = 60*length / (
  99-0.000092*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1083.75 .max.0)*-0.000739
 + (get(1)-1300 .max.0)*-0.001505
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.382723
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd36 = 60*length / (
  99-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.006917
 + (get(1)-750 .max.0)*-0.000422
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.199094
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd37 = 60*length / (
  92-0.000092*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1083.75 .max.0)*-0.001757
 + (get(1)-1300 .max.0)*-0.00065
```

```
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.2375
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd38 = 60*length / (
  94.5-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.00527
 + (get(1)-750 .max.0)*-0.000314
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.154
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd39 = 60*length / (
  80-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.003681
 + (get(1)-750 .max.0)*0.00099
 + (get(1)-1500 .max.0)*0.003108
 .max.75.5  ) +(15*(put(get(1)/1550)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd40 = 60*length / (
  103-0.000092*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1083.75 .max.0)*-0.000933
 + (get(1)-1300 .max.0)*-0.001662
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.460131
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd41 = 60*length / (
  103-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.00744
 + (get(1)-750 .max.0)*-0.001475
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.248546
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd42 = 60*length / (
  96-0.000092*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1083.75 .max.0)*-0.000577
 + (get(1)-1300 .max.0)*-0.001375
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.324882
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd43 = 60*length / (
  96-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.005976
 + (get(1)-750 .max.0)*-0.000394
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.164208
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd44 = 60*length / (
  91.5-0.000092*put(volau/ul1)
 + (get(1)-1083.75 .max.0)*-0.001118
 + (get(1)-1300 .max.0)*-0.001811
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.227655
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2
```

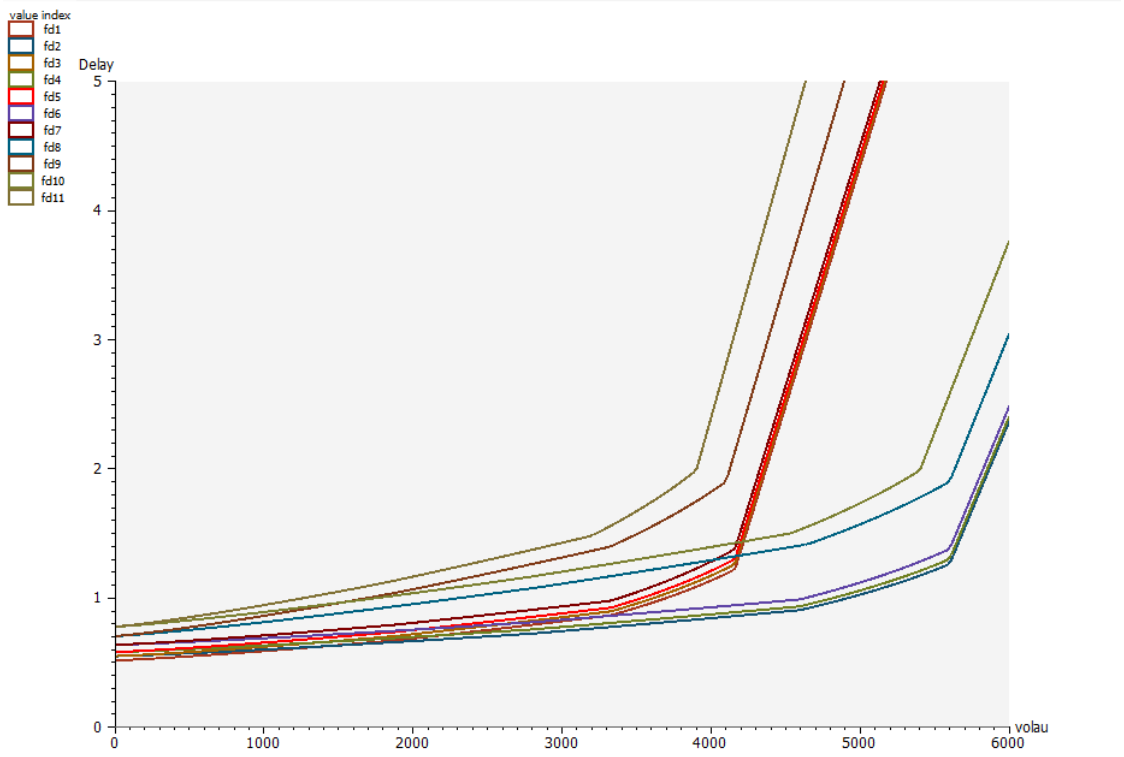
```
a fd45 = 60*length / (
  91.5-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.005261
 + (get(1)-750 .max.0)*-0.000367
 + (get(1)-1500 .max.0)*-0.093387
 .max.79  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd46 = 60*length / (
  80-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.003681
 + (get(1)-750 .max.0)*0.00099
 + (get(1)-1500 .max.0)*0.003108
 .max.75.5  ) +(15*(put(get(1)/1550)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd47 = 60*length / (
  80-0.000417*put(volau/ul1)
 + (get(1)-240 .max.0)*-0.003681
 + (get(1)-750 .max.0)*0.00099
 + (get(1)-1500 .max.0)*0.003108
 .max.75.5  ) +(15*(put(get(1)/1550)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd48 = 60*length / (
  102-0.000333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-300 .max.0)*-0.029329
 + (get(1)-700 .max.0)*0.015048
 + (get(1)-1300 .max.0)*0.003435
 .max.74  ) +(15*(put(get(1)/1950)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd49 = 60*length / (
  100-0.000667*put(volau/ul1)
 + (get(1)-150 .max.0)*-0.029175
 + (get(1)-600 .max.0)*0.014902
 + (get(1)-1200 .max.0)*0.003262
 .max.70.5  ) +(15*(put(get(1)/1800)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd50 = 60*length / (
  100-0.000333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-300 .max.0)*-0.027726
 + (get(1)-700 .max.0)*0.014228
 + (get(1)-1300 .max.0)*0.003251
 .max.73.5  ) +(15*(put(get(1)/1950)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd51 = 60*length / (
  98-0.000667*put(volau/ul1)
 + (get(1)-150 .max.0)*-0.03402
 + (get(1)-550 .max.0)*0.0174
 + (get(1)-1100 .max.0)*0.003924
 .max.66.5  ) +(15*(put(get(1)/1700)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2
```

```
a fd52 = 60*length / (
  97-0.001*put(volau/ul1)
 + (get(1)-100 .max.0)*-0.031478
 + (get(1)-550 .max.0)*0.016034
 + (get(1)-1100 .max.0)*0.003544
 .max.65.5  ) +(15*(put(get(1)/1700)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd53 = 60*length / (
  91.5-0.000333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-300 .max.0)*-0.018326
 + (get(1)-700 .max.0)*0.008396
 + (get(1)-1300 .max.0)*0.002141
 .max.72.5  ) +(15*(put(get(1)/1950)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd54 = 60*length / (
  91-0.000667*put(volau/ul1)
 + (get(1)-150 .max.0)*-0.025514
 + (get(1)-550 .max.0)*0.011675
 + (get(1)-1100 .max.0)*0.002922
 .max.65.5  ) +(15*(put(get(1)/1700)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd55 = 60*length / (
  89.5-0.001*put(volau/ul1)
 + (get(1)-100 .max.0)*-0.023136
 + (get(1)-550 .max.0)*0.010576
 + (get(1)-1100 .max.0)*0.002591
 .max.64.5  ) +(15*(put(get(1)/1700)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd56 = 60*length / (
  88-0.001333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-75 .max.0)*-0.024039
 + (get(1)-500 .max.0)*0.011214
 + (get(1)-1050 .max.0)*0.002777
 .max.62.5  ) +(15*(put(get(1)/1650)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd57 = 60*length / (
  82.5-0.000333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-300 .max.0)*-0.010213
 + (get(1)-700 .max.0)*0.003434
 + (get(1)-1300 .max.0)*0.001091
 .max.70  ) +(15*(put(get(1)/1950)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd58 = 60*length / (
  85.5-0.000667*put(volau/ul1)
 + (get(1)-150 .max.0)*-0.019903
 + (get(1)-550 .max.0)*0.006743
 + (get(1)-1100 .max.0)*0.002046
 .max.62.5  ) +(15*(put(get(1)/1700)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2
```

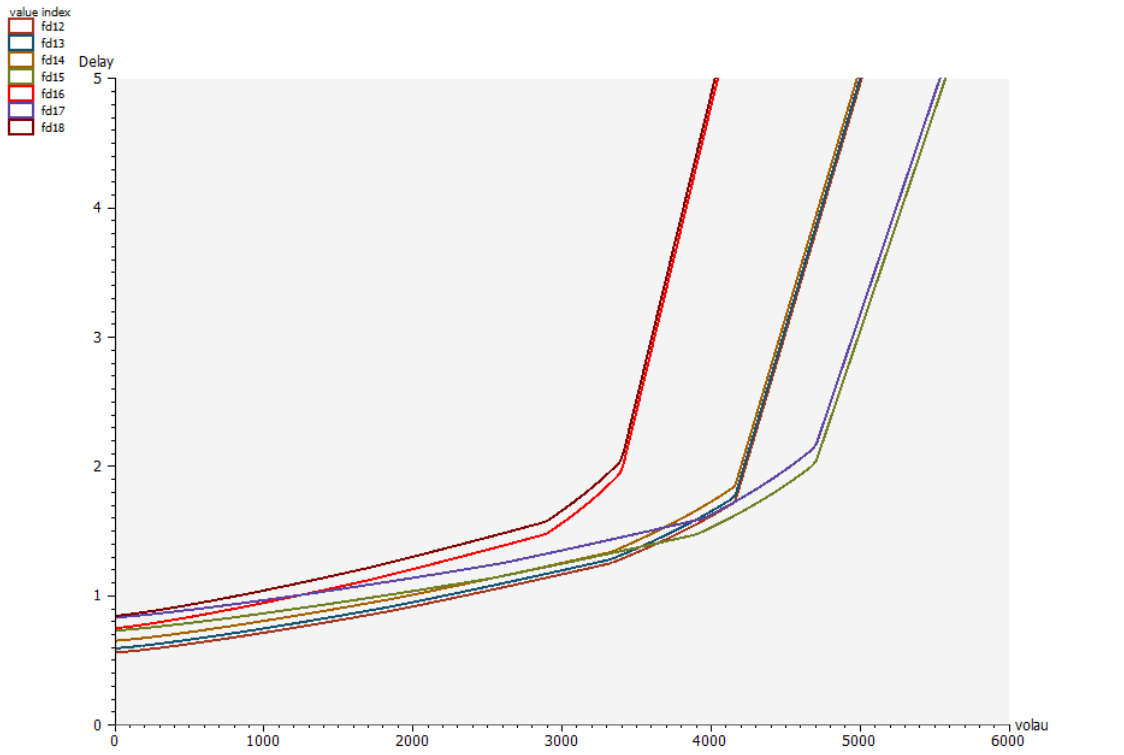
```
a fd59 = 60*length / (
  82.5-0.001333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-75 .max.0)*-0.018252
 + (get(1)-500 .max.0)*0.006356
 + (get(1)-1050 .max.0)*0.001896
 .max.60  ) +(15*(put(get(1)/1650)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd60 = 60*length / (
  79-0.003333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-30 .max.0)*-0.015027
 + (get(1)-450 .max.0)*0.006018
 + (get(1)-1000 .max.0)*0.001676
 .max.58  ) +(15*(put(get(1)/1600)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd61 = 60*length / (
  71-0.00025*put(volau/ul1)
 + (get(1)-400 .max.0)*-0.002105
 + (get(1)-700 .max.0)*0.000462
 + (get(1)-1300 .max.0)*0.000265
 .max.68  ) +(15*(put(get(1)/1950)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd62 = 60*length / (
  75.5-0.000667*put(volau/ul1)
 + (get(1)-150 .max.0)*-0.012618
 + (get(1)-550 .max.0)*0.003464
 + (get(1)-1100 .max.0)*0.001179
 .max.59.5  ) +(15*(put(get(1)/1700)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd63 = 60*length / (
  74-0.001333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-75 .max.0)*-0.012045
 + (get(1)-500 .max.0)*0.003457
 + (get(1)-1050 .max.0)*0.001159
 .max.57.5  ) +(15*(put(get(1)/1650)-
1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd64 = 60*length / (
  69.5-0.003333*put(volau/ul1)
 + (get(1)-30 .max.0)*-0.009617
 + (get(1)-450 .max.0)*0.003284
 + (get(1)-950 .max.0)*0.001121
 .max.54  ) +(15*(put(get(1)/1550)-1).max.0)+0.85*length*get(2)^1.2

a fd65 = 60*length / (
  71+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-400 .max.0)*-0.0225
 + (get(1)-800 .max.0)*-0.0075
 + (get(1)-1100 .max.0)*0.0025
 .max.42)+60*length*1.325*
 (0.031/15+put(get(1)/1200-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.297*(get(2)+1)/1200))

a fd66 = 60*length / (
  69+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-400 .max.0)*-0.028571
```

```
 + (get(1)-750 .max.0)*-0.011429
 + (get(1)-1000 .max.0)*0.015
 .max.39)+60*length*1.798*
 (0.053/15+put(get(1)/1120-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.209*(get(2)+1)/1120))

a fd67 = 60*length / (
  66+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-350 .max.0)*-0.036
 + (get(1)-600 .max.0)*0
 + (get(1)-850 .max.0)*0.007429
 .max.38)+60*length*1.798*
 (0.064/15+put(get(1)/960-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.12*(get(2)+1)/960))
c was 0.128

a fd68 = 60*length / (
  61.5+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-400 .max.0)*-0.018571
 + (get(1)-750 .max.0)*-0.009429
 + (get(1)-1000 .max.0)*0.008
 .max.40)+60*length*2.025*
 (0.067/15+put(get(1)/1120-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.223*(get(2)+1)/1120))
c was 0,047

a fd69 = 60*length / (
  60+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-400 .max.0)*-0.023333
 + (get(1)-700 .max.0)*-0.011667
 + (get(1)-900 .max.0)*0.015
 .max.38)+60*length*2.651*
 (0.049/15+put(get(1)/1061-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.26*(get(2)+1)/1061))
c was 0,037

a fd70 = 60*length / (
  56.5+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-350 .max.0)*-0.024
 + (get(1)-600 .max.0)*-0.0085
 + (get(1)-800 .max.0)*0.005833
 .max.36)+60*length*2.651*
 (0.06/15+put(get(1)/880-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.185*(get(2)+1)/880))

a fd71 = 60*length / (
  52+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-400 .max.0)*-0.013333
 + (get(1)-700 .max.0)*-0.002667
 + (get(1)-950 .max.0)*0.001714
 .max.39)+60*length*2.842*
 (0.036/15+put(get(1)/1040-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.195*(get(2)+1)/1040))
```

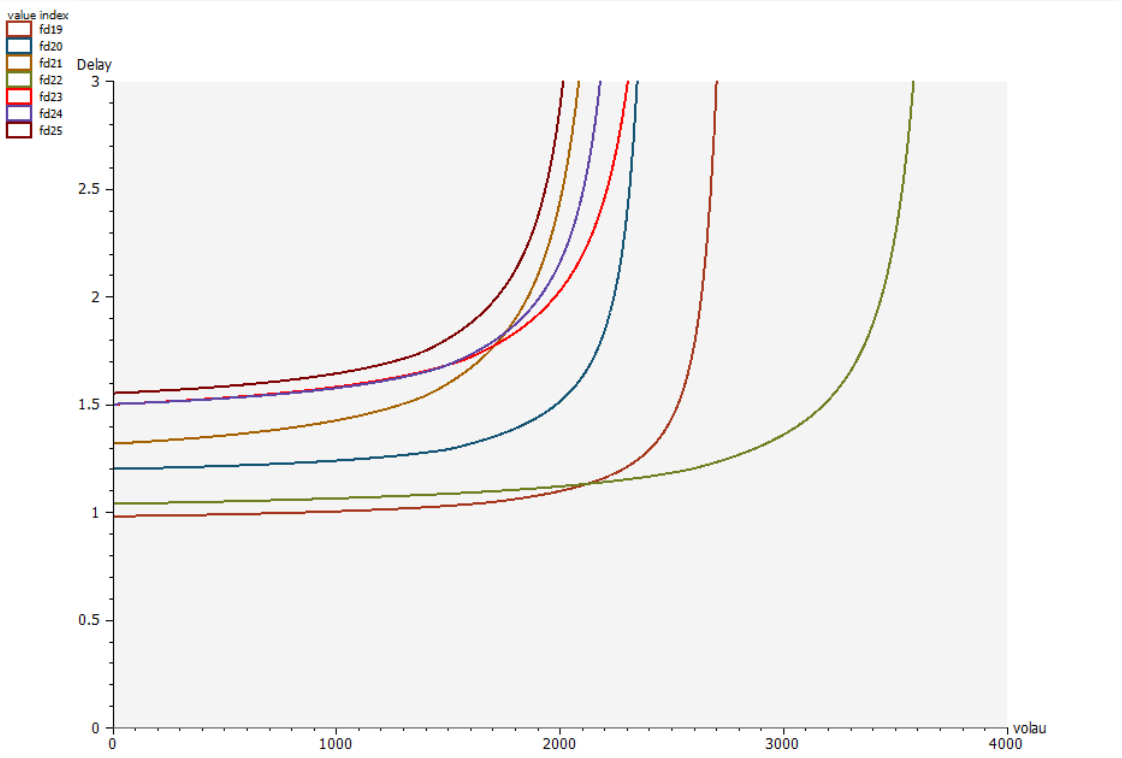
```
a fd72 = 60*length / (
  51+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-400 .max.0)*-0.018
 + (get(1)-650 .max.0)*-0.0045
 + (get(1)-850 .max.0)*0.008214
 .max.37)+60*length*2.9*
 (0.039/15+put(get(1)/960-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.207*(get(2)+1)/960))

a fd73 = 60*length / (
  43+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-350 .max.0)*-0.015
 + (get(1)-550 .max.0)*-0.005
 + (get(1)-700 .max.0)*0.004
 .max.33)+60*length*2.9*
 (0.055/15+put(get(1)/760-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.184*(get(2)+1)/760))

a fd74 = 60*length / (
  42+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-400 .max.0)*-0.015
 + (get(1)-600 .max.0)*0
 + (get(1)-800 .max.0)*0.005
 .max.33)+60*length*3.125*
 (0.041/15+put(get(1)/909-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.204*(get(2)+1)/909))

a fd75 = 60*length / (
  39+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-350 .max.0)*-0.015
 + (get(1)-550 .max.0)*-0.005
 + (get(1)-700 .max.0)*0.008
 .max.30)+60*length*3.12*
 (0.039/15+put(get(1)/899-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.206*(get(2)+1)/899))

a fd76 = 60*length / (
  37+0*put(volau/ul1)
 + (get(1)-350 .max.0)*-0.01
 + (get(1)-550 .max.0)*-0.01
 + (get(1)-700 .max.0)*0.008
 .max.29)+60*length*3.12*
 (0.052/15+put(get(1)/760-
1)+sqrt(get(2)*get(2)+8*0.183*(get(2)+1)/760))
```



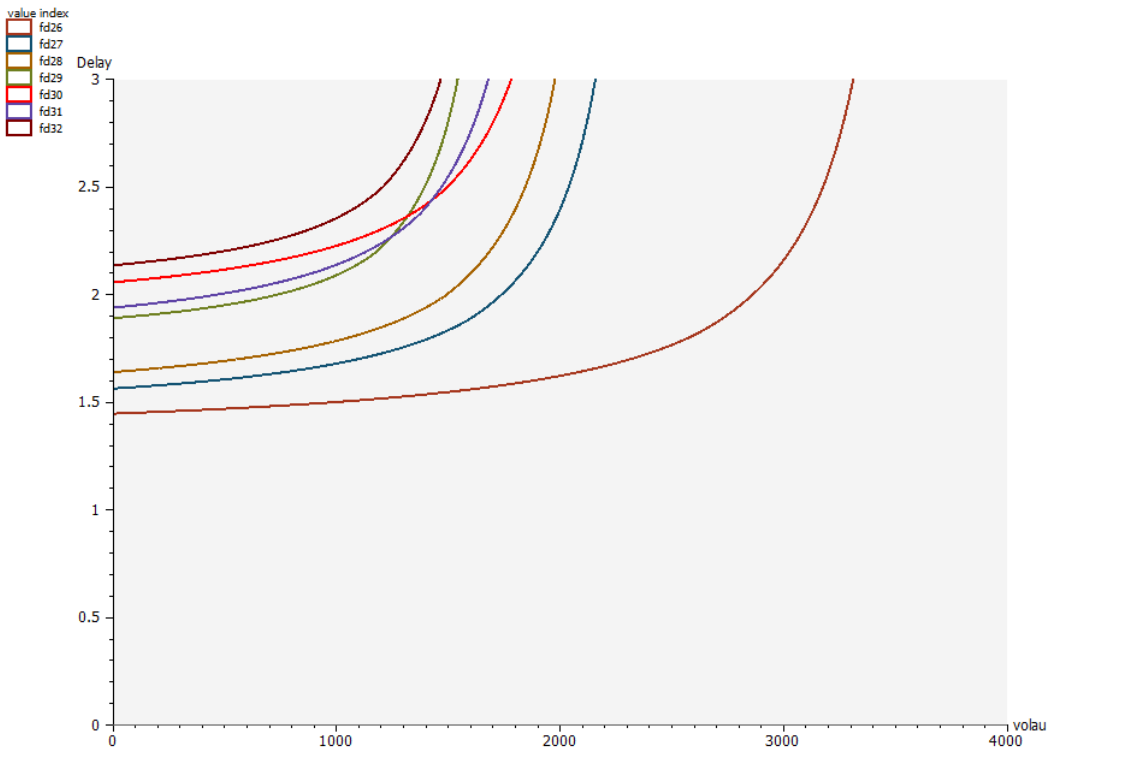
Figur 7 Restidsfunktioner för motorvägar (VDF-index 1-11), givet $length = 1$ *och* $ul1 = 1$



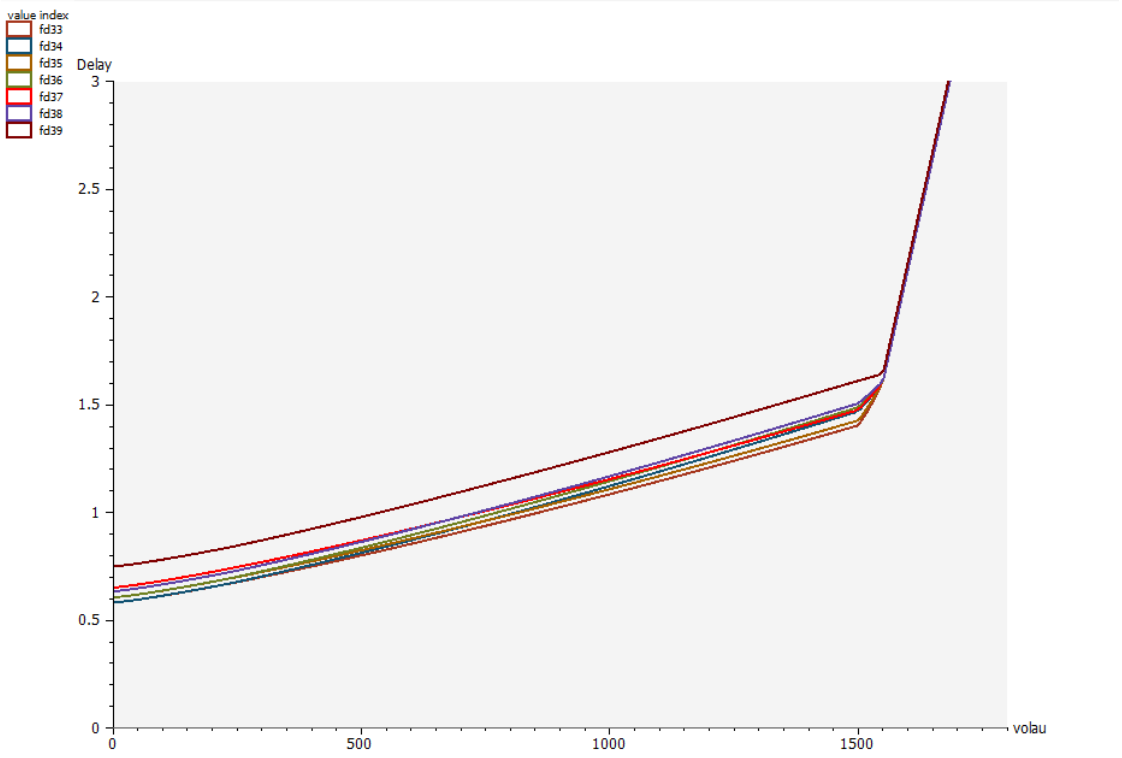
Figur 8 Restidsfunktioner för flerfältsvägar i landsbygdsmiljö (VDF-index 12-18), givet $length = 1$ *och* $ul1 = 1$.



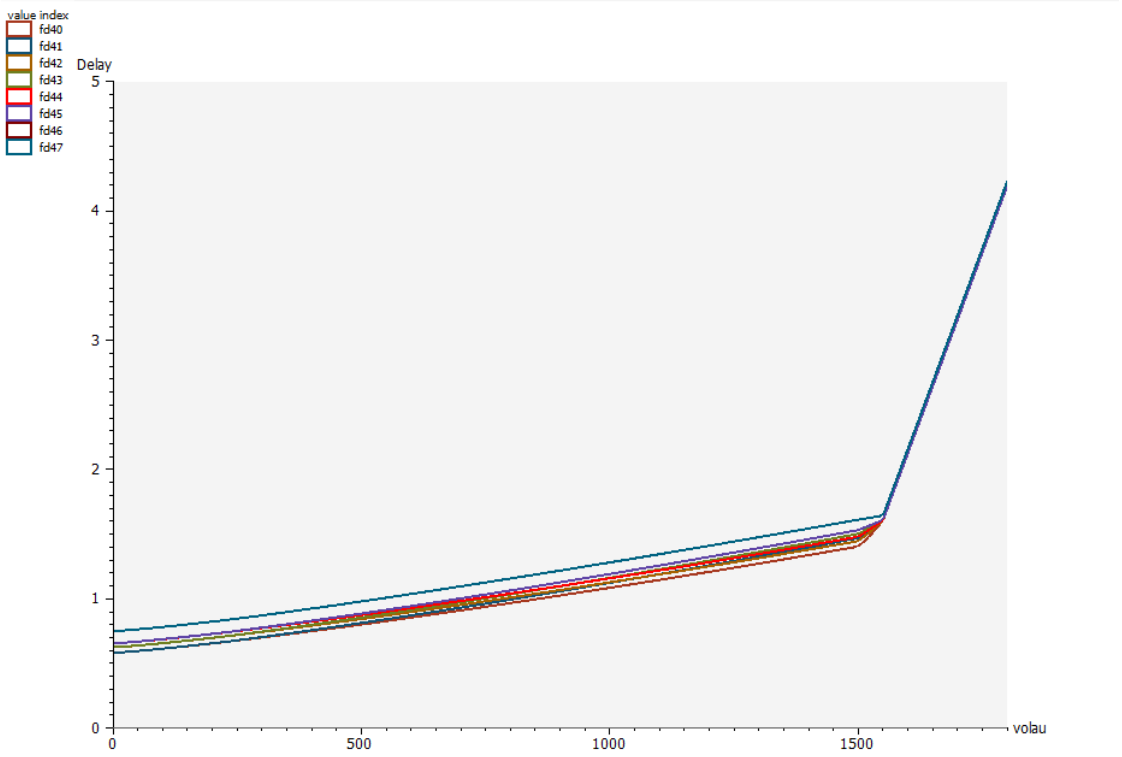
Figur 9 Restidsfunktioner för flerfältsvägar i tätortsmiljö och hastighetsgräns högre än 50 km/h (VDF-index 19-25), givet $length = 1$ *och* $ul1 = 1$.



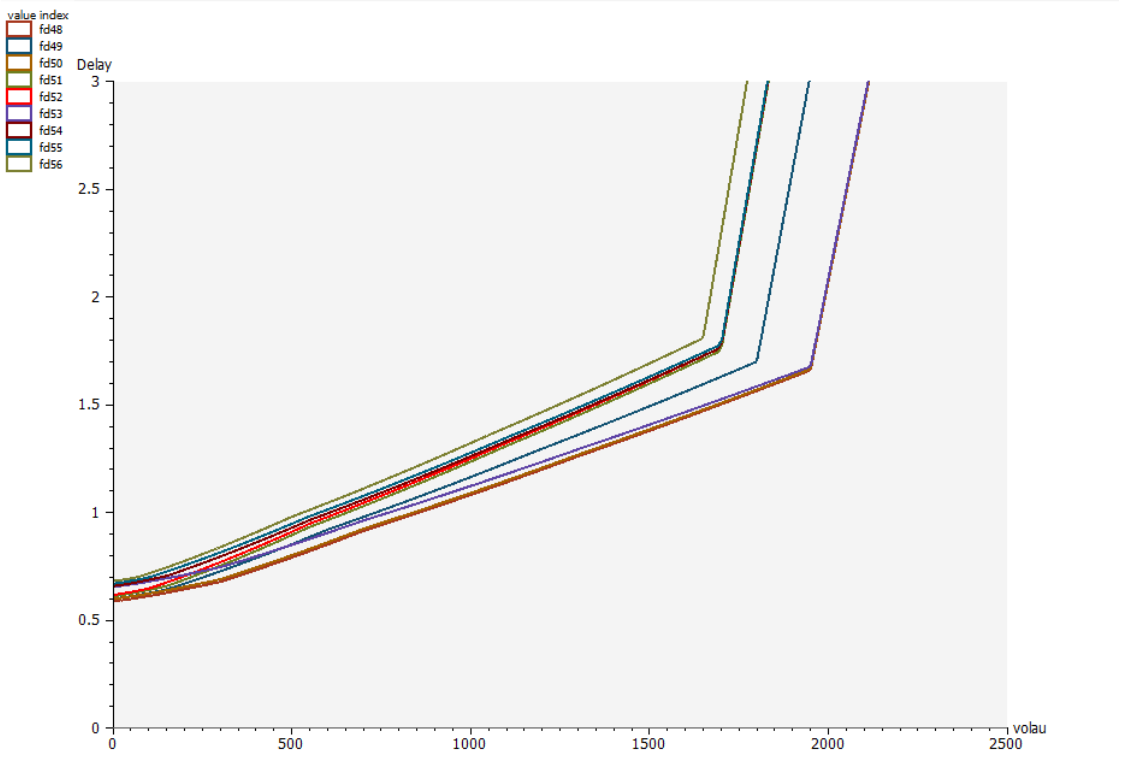
Figur 10 Restidsfunktioner för flerfältsvägar i tätortsmiljö och hastighetsgräns lägre än lika med 50 km/h (VDF-index 26-32), givet $length = 1$ *och* $ul1 = 1$.



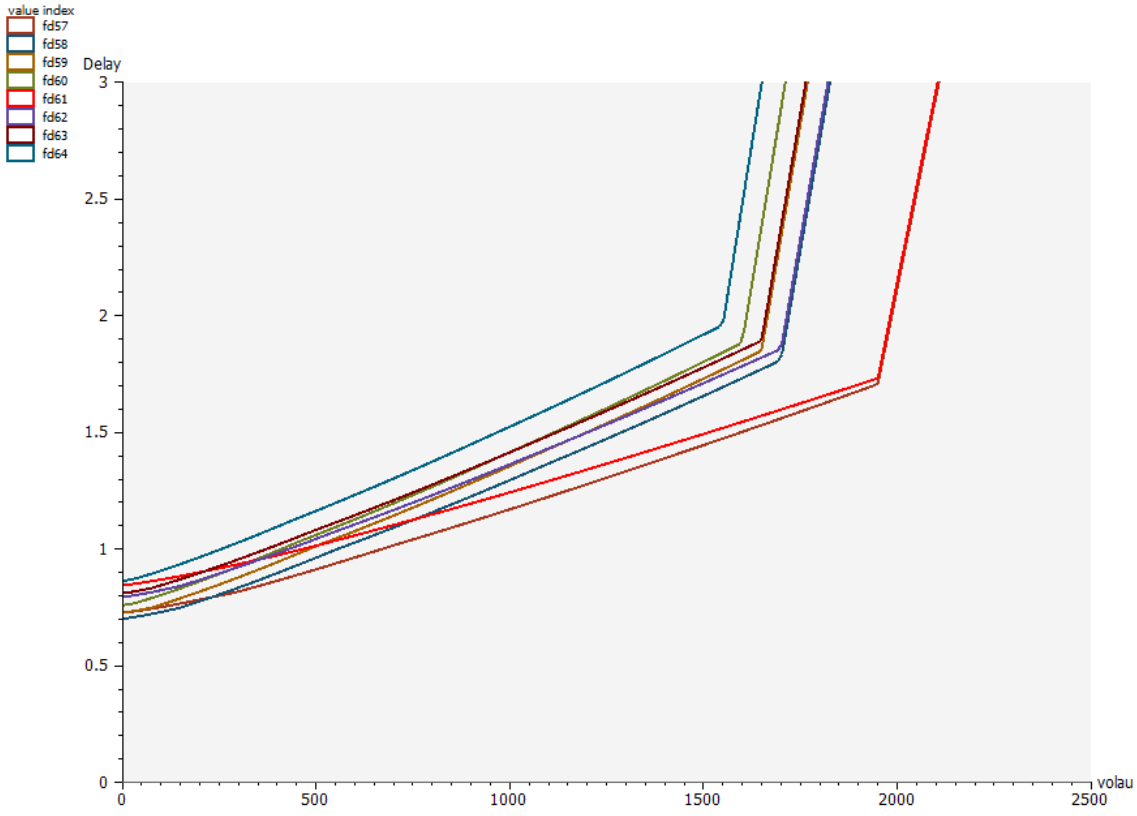
Figur 11 Restidsfunktioner för mötesfri motortrafikled (VDF-index 33-39), givet $length = 1$ *och* $ul1 = 1$.



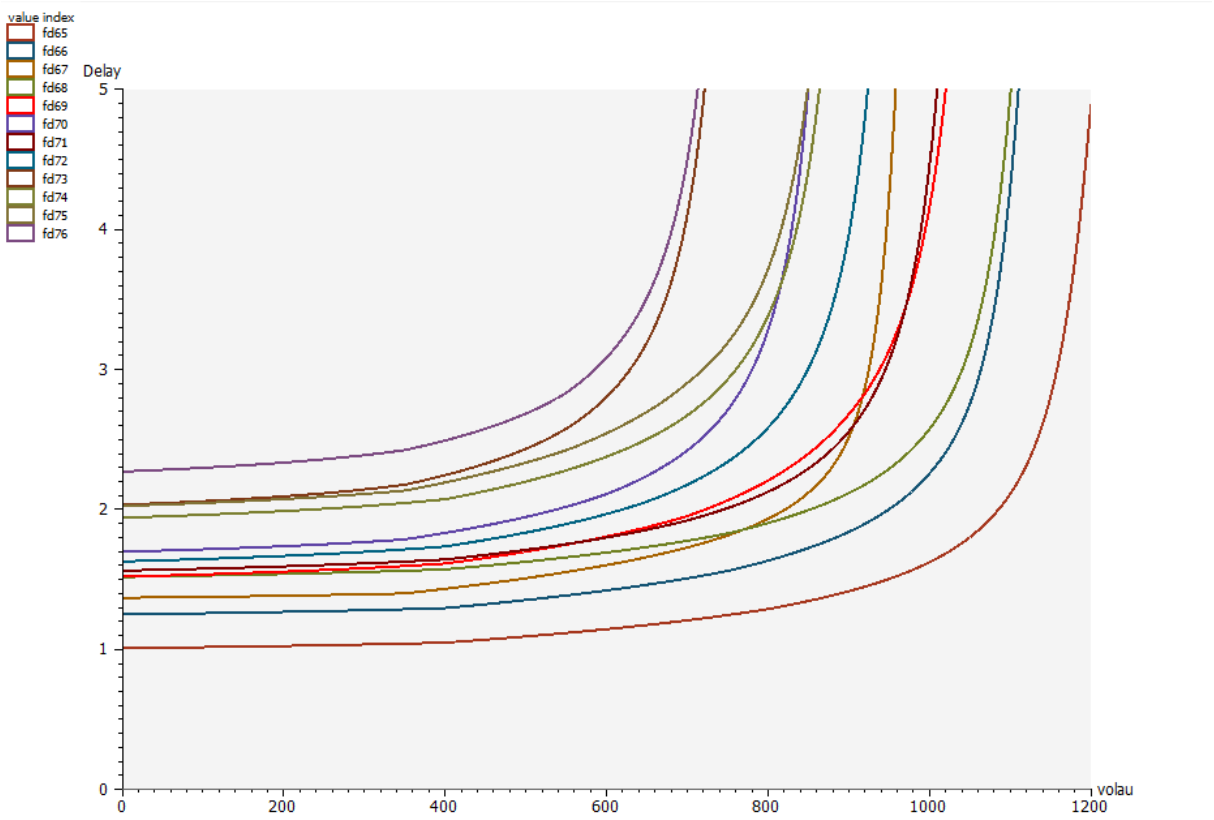
Figur 12 Restidsfunktioner för mötesfri landsväg (VDF-index 40-47), givet $length = 1$ *och* $ul1 = 1$.



Figur 13 Restidsfunktioner för tvåfältsväg med hastighetsgräns högre än 80 km/h (VDF-index 48-56)



Figur 14 Restidsfunktioner för tvåfältsväg i landsbygdsmiljöer med hastighetsgräns mindre än lika med 80 km/h (VDF-index 57-64)



Figur 15 Restidsfunktioner för tvåfältsväg i tätortsmiljöer med hastighetsgräns mindre än lika med 80 km/h (VDF-index 65-76)