

Analys av trängsel på motorväg

Beräkningsmodeller för medelflöden/medelhastigheter samt utformning av påfartsreglering i Göteborg

Examensarbete inom masterprogrammet Geo and Water Engineering

SEBASTIAN HASSELBLOM

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik

Grupp Väg och trafik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2010

Examensarbete 2010:32

EXAMENSARBETE 2010:32

Analys av trängsel på motorväg

Beräkningsmodeller för medelflöden/medelhastigheter samt utformning av
påfartsreglering i Göteborg

Examensarbete inom masterprogrammet Geo and Water Engineering

SEBASTIAN HASSELBLOM

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Grupp Väg och trafik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2010

Analys av trängsel på motorväg
Beräkningsmodeller för medelflöden/medelhastigheter samt utformning av
påfartsreglering i Göteborg

Examensarbete inom masterprogrammet Geo and Water Engineering
SEBASTIAN HASSELBLOM

© SEBASTIAN HASSELBLOM, 2010

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2010:32

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Grupp Väg och trafik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
031-772 1000

Omslag:

Övre bilden: Flödeskurvor för E6/E20 i norrgående riktning genom Gårda i Göteborg.
Flödeskurvor för måndagar – fredagar under 15 veckor är plottade på varandra,
tillsammans med den svarta linjen som är beräknad med Stockholmsmodellen.

Undre bilden: Trafiken en vardagsmorgon vid den norrgående påfarten i
Lindomemotet, E6/E20 utanför Lindome.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2010

Analysis of traffic congestion on freeway

Algorithms for mean flow/mean speed and design of ramp meter in Göteborg

Master of Science Thesis in the Master's Programme Geo and Water Engineering

SEBASTIAN HASSELBLOM

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of GeoEngineering

Group Road and Traffic

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

One way to increase the public transport journeys and reduce journeys with car is to introduce congestion taxes. This is considered in Göteborg and will be introduced in 2013. The basic principle is that the higher the demand for travel is, the higher the tax will be. To find out how high the demand is, it is necessary to obtain flow data from a longer period and run this in different calculation models. During this process, different types of computational models has been developed and tested. This led to the conclusion that a model called Stockholm model was used. When the weighted graph of flows and speeds had been developed, this was used to form the tax rates for Göteborg. The diagram was successful and worked well to be used for decide the different congestion tax levels.

In some cases, a heavily congested freeway ramp creates problems for the traffic on the freeway. If many vehicles want to enter the freeway at the same, it will be difficult to find a gap and be able to enter the freeway without causing problems. Better would be if there is one and one vehicle on the ramp. One way to create such a flow is to set up signals at the ramp that allow one vehicle per green period. The work is about how ramp meters works and analyzes how the algorithms can be written for the system to work as good as possible. Appropriate places in the Göteborg area where this could be installed are also investigated. The result shows the northbound on-ramp in Lindome junction is appropriate for ramp metering.

Analys av trängsel på motorväg

Beräkningsmodeller för medelflöden/medelhastigheter samt utformning av påfartsreglering i Göteborg

Examensarbete inom masterprogrammet Geo and Water Engineering

SEBASTIAN HASSELBLOM

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för geologi och geoteknik

Grupp Väg och trafik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Ett sätt att öka det kollektiva resandet och minska bilresandet är att införa trängselskatt. Detta utreds i Göteborg och kommer att införas år 2013. Grundprincipen är att ju högre efterfrågan på resande är, ju högre ska skattebeloppet vara. För att ta reda på hur hög efterfrågan är måste man inhämta flödesdata från en längre period och köra denna i olika beräkningsmodeller. Under arbetets gång har olika typer av beräkningsmodeller utvecklats och testats. Detta ledde till slut fram till att en modell vid namn Stockholmsmodellen kom att användas. När sammanvägda diagram över flöden och hastigheter hade tagits fram användes dessa för att forma skattenivåerna. Diagrammen blev bra och dessa fungerade väl för att användas för att bestämma vilka skattenivåer som ska gälla vid olika tidpunkter.

I vissa fall kan en hårt belastad motorvägspåfart skapa problem för trafiken ute på motorvägen. Om slumpen gör att många fordon kommer samtidigt på påfarten blir det svårt för alla att hitta en lucka och kunna väva in på motorvägen utan att skapa problem. Bättre vore om det kommer ett och ett fordon på påfarten. Ett sätt att skapa ett sådant flöde är att sätta upp trafiksignaler på påfarten som släpper ut ett fordon per grönperiod. Arbetet ger en bild av hur påfartsreglering fungerar och analyserar översiktligt hur lämpliga algoritmer kan skrivas för att systemet ska fungera så bra som möjligt. Lämpliga platser i Göteborgsområdet där detta skulle kunna installeras utreds också. Resultatet av dessa visar att Lindomemotets norrgående påfart är lämplig för påfartsreglering.

Innehållsförteckning

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Metod	2
2 BERÄKNINGSMODELLER FÖR FLÖDE OCH HASTIGHET	3
2.1 Kvalitén på indatan	3
2.2 Algoritmer	3
2.3 Trängselskatteutredningen i Göteborg	4
2.3.1 Bakgrund	4
2.3.2 Framtagning av diagram	7
2.3.3 Algoritm för flöde/tid-diagram	9
2.3.4 Algoritm för olika percentilnivåer	10
2.3.5 Algoritm för Stockholmsmodellen	11
2.3.6 De färdiga diagrammen	14
2.4 Trängseldiagram	16
2.4.1 Algoritmer	19
2.4.2 Kopplingsmodellen	19
2.4.3 Den separata modellen	20
2.4.4 Diskussion och jämförelse	22
3 PÅFARTSREGLERING	24
3.1 Bakgrund	24
3.2 Inledning	24
3.3 Algoritmer	26
3.4 Exempel på slingor och algoritm	28
3.5 Kriterier för införande av påfartsreglering	31
3.6 Korrigering för tidsökning för tunga fordon	32
3.7 Tillämpningar i Göteborg	33
3.7.1 Götatunneln	34
3.7.2 Lindomemotet	35
3.7.3 Klarebergsmotet	37

4	RESULTAT	41
4.1	Beräkningsmodeller	41
4.2	Påfartsreglering	42
5	DISKUSSION	44
5.1	Beräkningsmodeller	44
5.2	Påfartsreglering	44
6	SLUTSATSER	46
7	KÄLLFÖRTECKNING	47
BILAGA 1	STOCKHOLMSMODELLENS ALGORITM	1

Förord

Denna rapport beskriver hur beräkningsmodeller kan utformas för att sammanväga mätdata från längre perioder för flöden och hastigheter. Rapporten beskriver också vad påfartsreglering är för något och hur det används. Rapporten är skriven under perioden januari till juni 2010 som den avslutande delen i masterutbildningen inom programmet Geo and Water Engineering.

Examensarbetet är skrivet på Trafikverket Region Väst (före 1 april, Vägverket Region Väst) med Bertil Hallman, Trafikverket, som lokal handledare och Gunnar Lannér, handledare och examinator på Chalmers. Under de första månaderna som examensarbetet skrevs jobbade jag med trängselskatteprojektet i Göteborg. Jag satt med i en grupp som hade till uppgift att utreda tidsdifferentierade skattenivåer, alltså att olika skattenivåer tas ut vid olika tidpunkter under dagen. Min huvudsakliga uppgift i gruppen var att ta fram sammanvägda flöden och hastigheter från olika mätplatser i Göteborg från en längre tids mätningar. En stor del av beräkningsmodellerna som finns med i detta examensarbete togs fram för trängselskatteutredningen. Arbetet gick till stora delar ut på att utveckla många olika beräkningsmodeller, testa dem och utveckla dem vidare. Jag hade stor hjälp av mina kollegor i tidsdifferentieringsgruppen när det gällde att bedöma hur bra de olika framtagna modellerna fungerade. Jag vill särskilt tacka Carl-Henrik Sandbreck, Sweco, han hjälpte mig mer än någon annan med detta.

Jag kom med i trängselskatteutredningen tack vare en förfrågan från Per Bergström Jonsson, Trafikverket, projektledare för trängselskattens utredningsresurs. Både för examensarbetet och min framtida karriär har det betytt väldigt mycket för mig att jag fick komma med i projektet. För detta vill jag tacka Per Bergström Jonsson, men också kollegorna Bertil Hallman och Per Lindholm, Trafikverket. Även min närmaste arbetskamrat Viktor Hultgren, Trafikverket, bidrog till att jag kom med i projektet.

Under hela arbetet har min lokala handledare Bertil Hallman stöttat mig. Det var också Bertil som såg till att jag fick skriva examensarbete, kombinerat med anställning, på Trafikverket. Vill särskilt tacka Bertil för detta. Slutligen vill jag tacka min handledare Gunnar Lannér.

En engelsk version av rapporten finns också att tillgå, vilket är Chalmers krav. Se 2010:32E.

Göteborg, juni 2010

Sebastian Hasselblom

1 Inledning

1.1 Bakgrund

På många håll i världen finns trängselproblem på hårt belastade motorvägar, särskilt på motorvägar i stadsnära områden. I många fall är det arbetspendlingen som skapar de största problemen. Av denna anledning är det vanligt att problemen är som störst på morgonen och eftermiddagen under vardagar. Trängselproblemen beror oftast på att efterfrågan på bilresor är större än vad vägarna kapacitetsmässigt klarar av. För att komma till bukt med trängseln kan olika åtgärder genomföras. En lösning är att öka vägnätets kapacitet, dels genom att bredda de befintliga vägarna och dels genom att bygga nya.

En annan lösning kan vara att försöka minska folks efterfrågan på bilresor. Att försöka minska den totala efterfrågan på resande är i många fall inte önskvärt, tvärtom vill man försöka förbättra arbetspendlingsmöjligheterna så att fler kan välja var de vill bo och arbeta oberoende av vartannat. I närheten av storstäder är det bättre ur ett samhällsekonomiskt perspektiv att arbetspendlarna åker kollektivt än att de åker i egna bilar. Med kollektivt inkluderas både transport med buss och med spårbunden trafik. I närheten av storstäder är det många människor som ska förflytta sig samma sträcka. Om arbetspendlarna åker ensamma i sina bilar upptar varje person en mycket större markyta än om man åker tillsammans i buss eller tåg. Dessutom minskas koldioxidutsläppen avsevärt med ökat kollektivt resande.

Ett sätt att öka det kollektiva resandet och minska bilresandet är att införa trängselskatt. Detta utreds i Göteborg och kommer att införas år 2013. För att göra systemet optimalt kommer olika skattenivåer att tas ut vid olika tidpunkter under dagen. Grundprincipen är att ju högre efterfrågan på resande är, ju högre ska skattebeloppet vara. För att ta reda på hur hög efterfrågan är måste man inhämta flödesdata från en längre period och köra denna i olika beräkningsmodeller. Under arbetets gång har olika typer av beräkningsmodeller utvecklats och testats.

I många fall är vägens generella kapacitet tillräckligt hög för att hantera trafiken, men att någon eller några platser har för låg kapacitet. Sådana platser benämns flaskhalsar och kan exempelvis vara en trafikplats där påfarten ska väva ihop med ordinarie körfält. När tillflödet till flaskhalsen är större än kapaciteten bildas köer uppströms flaskhalsen. När en trafikant hamnar sist i kön kan denna befinna sig flera kilometer ifrån flaskhalsen. Omedelbart efter flaskhalsen är det vanligt att kön släpper och hastigheten markant ökar igen. För att förbättra situationen vid påfarter där detta fenomen uppstår kan man installera en trafiksignal på påfarten som släpper ut ett fordon per grönperiod. Utan trafiksignal kan trafiken på påfarten komma väldigt oregelbundet. Ibland kommer det många fordon på en gång och ibland kommer det ingen. I stället för trafiken kommer på detta oregelbundna sätt släpper man ut trafiken på ett kontrollerat sätt med trafiksignal, så kallad påfartsreglering. Detta minskar problemet för trafiken ute på motorvägen och därmed minskar köerna. Denna rapport beskriver hur påfartsreglering kan utformas och tar även upp några platser i Göteborgsområdet där detta kan vara intressant.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att utveckla bättre beräkningsmodeller för sammanvägning av mätdata för skapande av flödes- och hastighetsdiagram, samt öka kunskapen om påfartsreglering och utreda om det finns platser i Göteborgsområdet där en sådan kan vara lämplig. Både bättre beräkningsmodeller och införande av påfartsreglering bidrar till att man bättre kan optimera trafiksystemet. Detta är kopplingen mellan de annars separat delarna i arbetet.

1.3 Avgränsningar

Arbetet studerar endast beräkningsmodeller som syftar till att skapa flödes- och hastighetsdiagram. Beräkningsmodellerna specialutvecklas för att passa den form som mätdata presenteras i när uttag görs från Vägverket Region Västs regionala trafikdatabas. Förståelsen för påfartsregleringen görs bara på en grundläggande nivå. När platserna i Göteborgsområdet som är lämpliga för påfartsreglering väljs ut så görs detta efter en snabb analys. Någon större analys, där alla platser i Göteborg detaljstuderas för att se om påfartsreglering kan vara lämplig, görs inte.

1.4 Metod

Beräkningsmodellerna utvecklas till stor del genom att många olika varianter programmeras och testas. Resultaten av testerna analyseras dels av författaren till denna rapport, men även av trafikutredare som jobbar ihop med författaren i trängselskatteutredningen i Göteborg. Även studier av befintliga beräkningsmodeller görs, detta genom sökningar på Internet. För att lära sig mer om påfartsreglering görs grundläggande studier, där resultat och analyser från orter som använder påfartsreglering studeras. Dessa studier görs också genom sökningar på Internet.

2 Beräkningsmodeller för flöde och hastighet

När man ska analysera hur trafiken flyter på en väg är ett bra mått att studera flöden och hastigheter på olika platser längs vägsträckan. Om man vill få en bra bild av hur trafikrytmen ser ut på en given plats eller sträcka räcker det inte att studera enskilda fordon vid enskilda tidpunkter. Slumpen gör att dessa enskilda fordon kan råka bete sig på annat sätt än det normala, vilket gör att man får en felaktig bild av situationen. Man kan också fråga sig vad som är det normala, för trafikrytmen på en särskild plats eller sträcka ser aldrig exakt likadan ut från dag till dag. I stället gäller det att försöka ta reda på hur trafiken ungefär brukar se ut.

2.1 Kvalitén på indatan

Om man ska bilda sig en rättvis bild av hur trafiken ser ut på en särskild plats eller sträcka är det viktigt att kvalitén på indatan är hög. Beroende på vilken typ av analys man ska göra kan indatan se olika ut. Om man exempelvis ska studera hur mycket trafik som går på en väg under en vecka så räcker det att man får flödet angivet exempelvis per timme eller per dag. Om man däremot ska studera trängselsituationen på en vägsträcka är det viktigt att få uppgifter mycket oftare än en gång i timmen. Det säger ju inte så mycket om man får reda på att medelhastigheten var 45 km/h mellan kl. 7 – 8. Om trängseln började kl. 06:45, 07:15 eller 07:30 säger den inget om. I detta fall måste man få uppgifter relativt tätt, exempelvis var femte minut. Om man vill få en mer exakt bild av situationen vill man kanske veta flöden och hastigheter för varje enskilt körfält, medan man för andra analyser kan nöja sig med att veta det totala för hela vägen.

Det är också viktigt att lämplig tidsperiod väljs ut som man plockar datan ifrån. Vill man få en rättvis bild bör tidsperioden inte vara alltför kort. Man bör titta på åtskilliga veckor. Trots att flera veckor väljs ut kanske inte uppgifterna är lämpliga. Det kanske råkade vara ett vägarbete under dessa veckor som gjorde att trafikrytmen såg helt annorlunda ut än normalt. Man måste också studera hur tillförlitlig datan är. Är det ofta som mätutrustningen har fallerat och lagrat felaktig data? Om mätutrustningen lagrat nollvärden, dvs. att hastigheten och flödet har varit noll är detta relativt lätt att upptäcka, men om den lagrar andra värden än det korrekta kan detta vara svårare att upptäcka. Kanske måste man specialprogrammera en algoritm som tar sig an den typen av avvikelser som finns på den specifika mätplatsen.

2.2 Algoritmer

När mätdata är utvald måste en algoritm köras som utifrån datan beräknar något slags sammanvägt värde, exempelvis vad medelflödet är vid olika klockslag under en genomsnittsdag. På grund av mätfel och andra avvikelser blir algoritmerna oftast mer avancerade än vad man kan tro. Det handlar inte bara om att beräkna ett medelvärde av all mätdata, många selekteringar måste göras. Andra typer av sammanvägda värden kan vara olika percentiler. När man ska presentera de sammanvägda värdena vill man ofta göra detta i ett diagram. Även när det gäller skapandet av själva diagrammen är

det lämpligt att programmera automatiserade processer för detta istället för att göra det manuellt. Att skapa alla diagrammen manuellt skulle ta extremt lång tid.

2.3 Trängselskatteutredningen i Göteborg

Utredarna för trängselskatten i Göteborg förordade från början att samma skattebelopp skulle gälla hela dagen. När man sedan ändrade sig och ville utreda hur det skulle fungera med tidsdifferentierade skattenivåer, dvs. att skattebeloppet är olika vid olika tidpunkter under dagen, tillsattes en särskild grupp för detta. Med i gruppen satt bland andra författaren till detta examensarbete. Eftersom författaren satt med i gruppen samtidigt som examensarbetet skrevs var det naturligt att arbetet författaren gjorde i gruppen också togs med som en del i examensarbetet.

2.3.1 Bakgrund

Det första man måste bestämma sig för är vad som ska ligga till grund för vilken skattenivå som är lämplig att använda vid olika tidpunkter. Ska man på måfå bestämma olika nivåer eller ska man grunda det exempelvis på hur stort flödet är vid olika tidpunkter? Att bestämma på måfå är knappast en god idé, inte minst med tanke på att det kan vara svårt att försvara dessa nivåer om man får kritik. Att sätta skattenivåerna efter hur högt flödet är kan vara en god idé. De flesta trafikanter bör acceptera ett sådant system, när flödet är högt betalar man mer än när man är ensam på vägen. Ett sådant system skulle också kunna leda till att fler väljer att köra på andra tider och därmed jämnar man ut flödet under dagen och minskar flödestopparna.

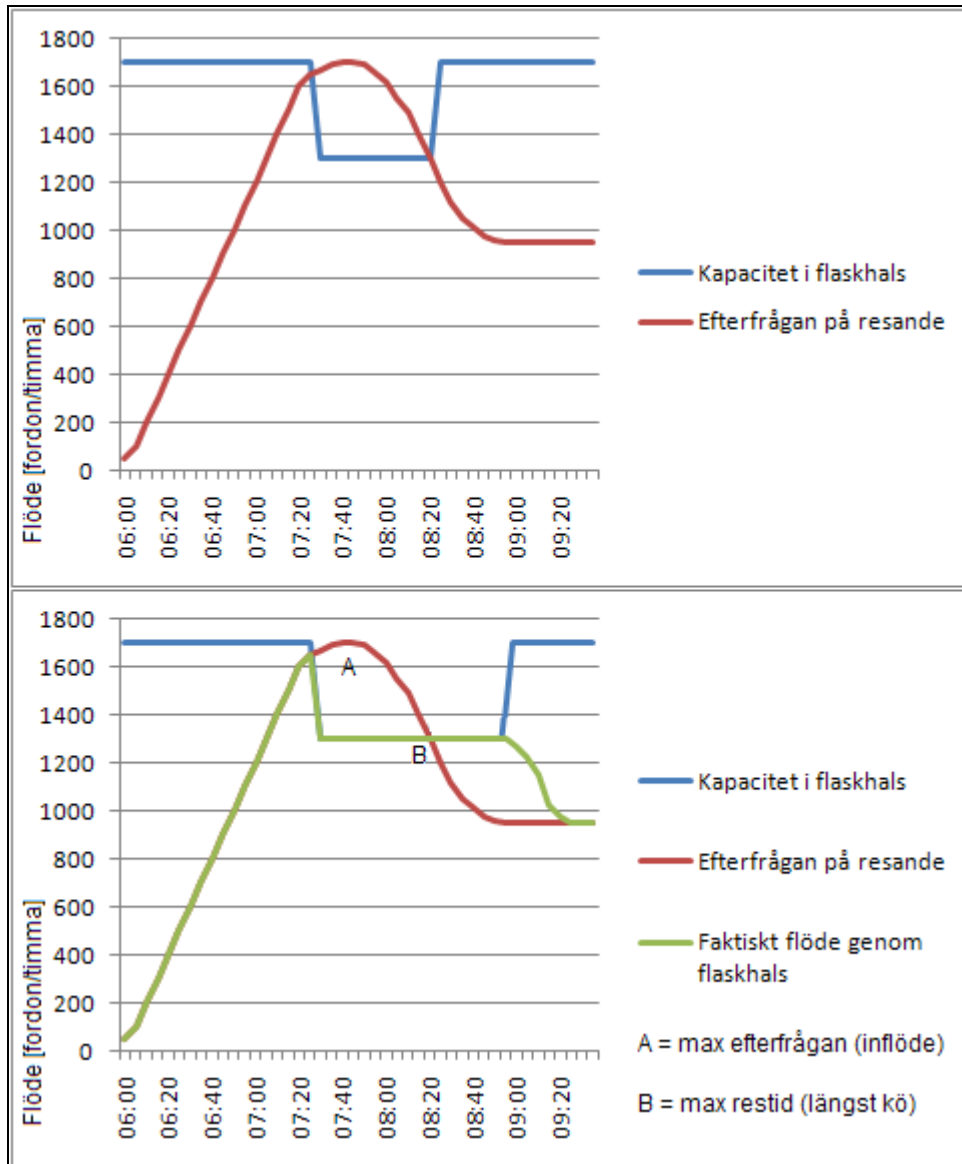
Förutom flödesmätningar kan man också få fram hastighetsmätningar och restidsmätningar. Flödes- och hastighetsmätningarna görs på fasta platser, medan restidsmätningarna görs på olika sträckor. När flödena går över vissa nivåer börjar hastigheterna gå ner. När hastigheterna minskar så ökar restiderna. Tittar man översiktligt kan man därför tycka att det inte spelar någon roll om man väljer att låta flödena, hastigheterna eller restiderna styra när skattenivåerna ska tas ut. Går man in mer i detalj ser man dock att skillnader finns mellan dessa. Exempelvis så brukar flödena nå sina toppar tidigare än när restiderna är som längst. Under rusningstrafiken kan skillnaden vara upp emot en halvtimme. Gruppen som utredde skattenivåerna, där författaren till detta examensarbete var med, hade svårt att bestämma sig för om det skulle vara flödena eller restiderna som skulle avgöra de olika skattenivåerna.

För att förstå problematiken måste man förstå varför flödestoppen kan inträffa tidigare än restidsmaximumet. Under natten är flödet väldigt lågt och hastigheterna är höga, i många fall avsevärt över skyltad hastighet. Restiderna är därmed låga. Under tidig morgon ökar flödet kraftigt, men fortfarande är flödena så pass låga att trafikanterna kan köra obehindrat. Strax före kl 7 har flödet blivit så högt att hastigheterna tvingas ner lite grann. I stället för att trafiken flyter i 90 km/h kanske trafiken flyter i 70 – 80 km/h. Restiderna ökar lite grann.

Efter kl 7 ökar flödet ännu mer och är tillslut uppe på ca 1700 fordon/timme per körfält. Detta är gränsen för hur många fordon ett körfält klarar av. Det går helt enkelt

inte att få igenom fler bilar. Nu är hastigheterna nere på ca 50 km/h och restiderna har givetvis ökat. Anledningen till att maxflödet kan uppnås när hastigheten är så pass låg som 50 km/h beror på att avståndet mellan fordonen är mycket mindre. Rent teoretiskt skulle man kunna få igenom ett högre flöde om alla höll ett kort avstånd i kombination med höga hastigheter, men en sådan situation är givetvis inte rimlig eller önskvärd, främst av säkerhetsskäl.

När tillflödet ökar ännu mer kollapsar systemet. På grund av att fordon som ska byta körfält, kommer på påfarter, etc. inte hittar en lucka så tvingas bakomvarande fordon att bromsa. Detta leder till att all trafik tvingas bromsa och trafiken står nu nästan helt stilla och kö har uppstått. Tillflödet fortsätter vara högt så köerna växer snabbt bakåt. Visserligen står bilarna ännu närmare varandra nu än vid 50 km/h, men på grund av den mycket låga hastigheten tvingas även flödet ner. Det är ju detta som är anledningen till att kön snabbt växer bakåt, tillflödet är större än utflödet. Detta illustreras i Figur 2.1.



Figur 2.1 När efterfrågan på resande (inflödet) är större än vägens kapacitet byggs köer på. Eftersom det tar tid att få bort alla köande fordon är det faktiska flödet högt även när efterfrågan har gått ner. När trafiken köar är kapaciteten begränsad.

På grund av kösituationen har alltså flödet tvingats ner till en lägre nivå, kanske till ca 1300 fordon/timma. När klockan är strax före åtta minskar tillflödet eftersom efterfrågan går ner. Tillflödet är dock fortfarande högre än 1300 fordon/timma, så även om efterfrågan sjunker så ökar köerna. När klockan är ca 08:20 har efterfrågan minskat så mycket att den nu ligger på samma nivå som flödet som kan passera flaskhalsen. Nu växer inte längre köerna, utan nu har man nått den maximala kölängden och därmed restidsmaximumet. När klockan har blivit 08:40 har köerna upplösts och nu börjar hastigheterna åter gå upp. Eftersom tillflödet ligger på en låg nivå dröjer det inte länge förrän fordonen kan köra utan hinder. Trots att efterfrågan på resande går ner (tillflödet går ner) så fortsätter alltså restiden att öka i cirka en halvtimme.

På andra trafikleder där situationen inte blir lika allvarlig och man aldrig går till kollaps så överensstämmer flödet och restiden bättre. I takt med att flödet ökar så sjunker hastigheten och restiden ökar. När flödet är som högst kanske hastigheten ligger på 60 km/h. När efterfrågan går ner minskar flödet, vilket leder till högre hastigheter och lägre restider. Med andra ord så finns ingen eftersläpning på det sätt som finns på vägar där kösituation uppstår. Jämför man vägar med kösituation och vägar utan kösituation så ser man att efterfrågan, dvs. tillflödena, ser likadana ut, men att restiden når sig högsta nivå senare för vägar med kösituationer.

När restiden är som längst är också trängseln störst. När tillflödet är som störst är efterfrågan på resande störst. Man får alltså fråga sig om skattenivåerna i första hand ska vara högst när trängseln är störst eller om de ska vara högst när efterfrågan på resande är störst. Rent spontant tycker nog många att man ska ta ut högsta skattebelopp när trängseln är som störst, det heter ju trängelskatt. Dock finns det fler faktorer som spelar in. När trängselskatten har införts kommer trafikmängden minska. En minskad trafik leder till färre köer och därmed kommer restidsmaximumet ligga närmare efterfrågemaximumet. Dessutom kommer Partihallslänken vara byggd när trängselskatten införs. De största problemen i Göteborg finns i anslutning till Olskroksmotet/Tingstadstunneln och med en ny länk mellan E45 och E20 kommer vägsystemets kapacitet i området kraftigt att öka. Detta leder också till färre köer. Detta gör att restidstopparna inte kommer inträffa lika sent när trängselskatten är i bruk som de gör idag och då är det ingen bra lösning att använda dagens restider som grund för när skattenivåerna ska gälla.

Allt detta sammantaget gjorde att gruppen valde att titta på flödena i stället för restiderna när skattenivåerna skulle bestämmas. Viktigt att notera är att flödena som uppmäts när kö råder inte är intressanta eftersom dessa har tvingats ner på grund av kapacitetsbrist. Ska man titta på flöden för att få reda på efterfrågan måste man titta på flöden som råder på vägar där kö inte råder. En viss risk finns givetvis att bilisterna har valt att starta tidigare eftersom de vet att de blir försenade av köerna. Om man exempelvis tittar på flödet på E6 söder om Göteborg så kanske flödestoppen inträffar tidigare än den egentliga efterfrågan eftersom trafikanterna vet att det längre fram kommer bli kö. Genom att ha studerat många trafikleder i och kring Göteborg, både i riktning ut från centrum och in mot centrum, så har något generellt tidigareläggande dock inte kunnat visas. Även om några mätpunkter avviker så inträffar flödestoppen ungefär samtidigt på de flesta av mätpunkterna.

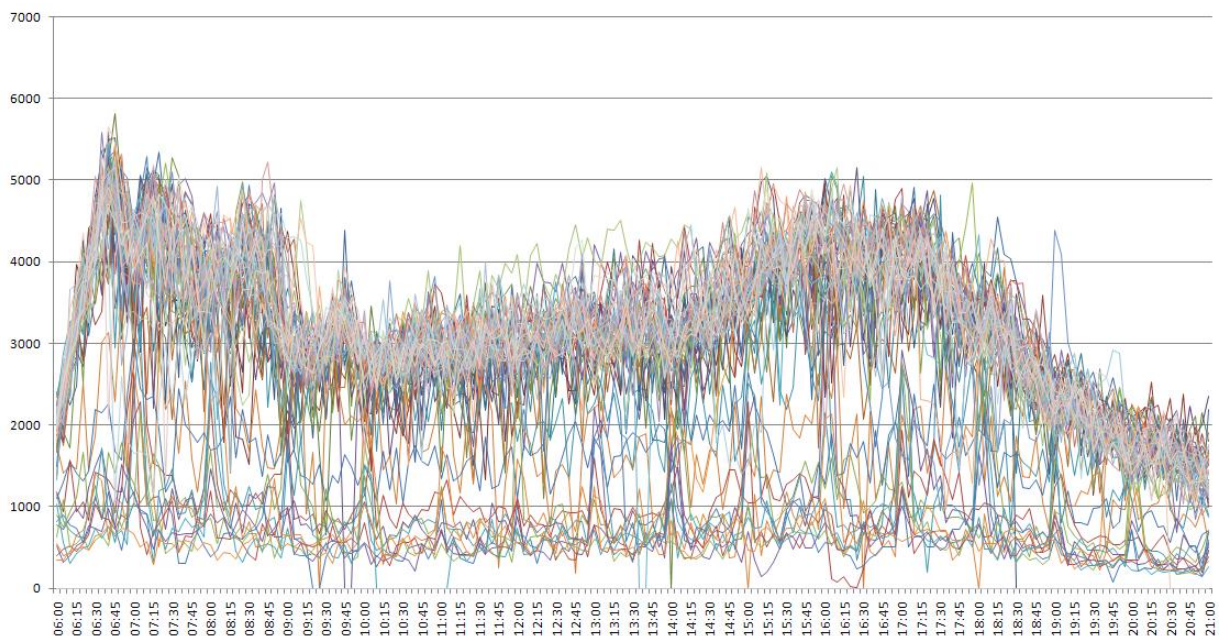
2.3.2 Framtagning av diagram

När man väl bestämt sig för att man skulle använda flödena i första hand så satte författaren igång med att ta fram flödesdiagram från olika mätplatser. Redan från början insågs att den bästa typen av diagram innehöll flödet på ena axeln och tiden på den andra. Tiden plottas från morgon till kväll och på detta sätt kan man lätt åskådliggöra hur flödet varierar under dagen.

När arbetet sattes igång gjordes detta förutsättningslöst. Exakt vilka algoritmer som skulle användas var inget som var bestämt. I stället programmerades nya algoritmer allteftersom som byggdes vidare på varandra.

Det första som gjordes var att välja ut vilken tidsperiod som skulle användas. Eftersom de sista åren på 00-talet visade på nergång till följd av lågkonjunkturen valdes hösten 2007. När man hämtar data från databasen får man datan i ett Excelark. Om man plockar ut data med upplösningen var femte minut för 15 veckor förstår man att Excelarket blir ganska stort. Redan från början insågs att makron måste skapas för att automatisera processerna eftersom det skulle ta extremt lång tid att göra alla beräkningar manuellt.

De första diagrammen som togs fram innehöll ingen sammanvägd flödeskurva, utan innehöll helt enkelt ett diagram där alla dagarna måndag - fredag under de 15 veckorna var ritade på varandra. Figur 2.2 visar exempel på hur ett sådant diagram kan se ut. Trots att inga sammanvägda kurvor är medtagna kan man ändå se ungefär var flödet ligger normalt. Man kan tydligt urskilja "skogen" av linjer, dvs. där de flesta av dagarnas flöden ligger. Man ser också att en relativt stor andel av datan avviker från det normala och att avvikelserna nästan alltid är till det lägre.

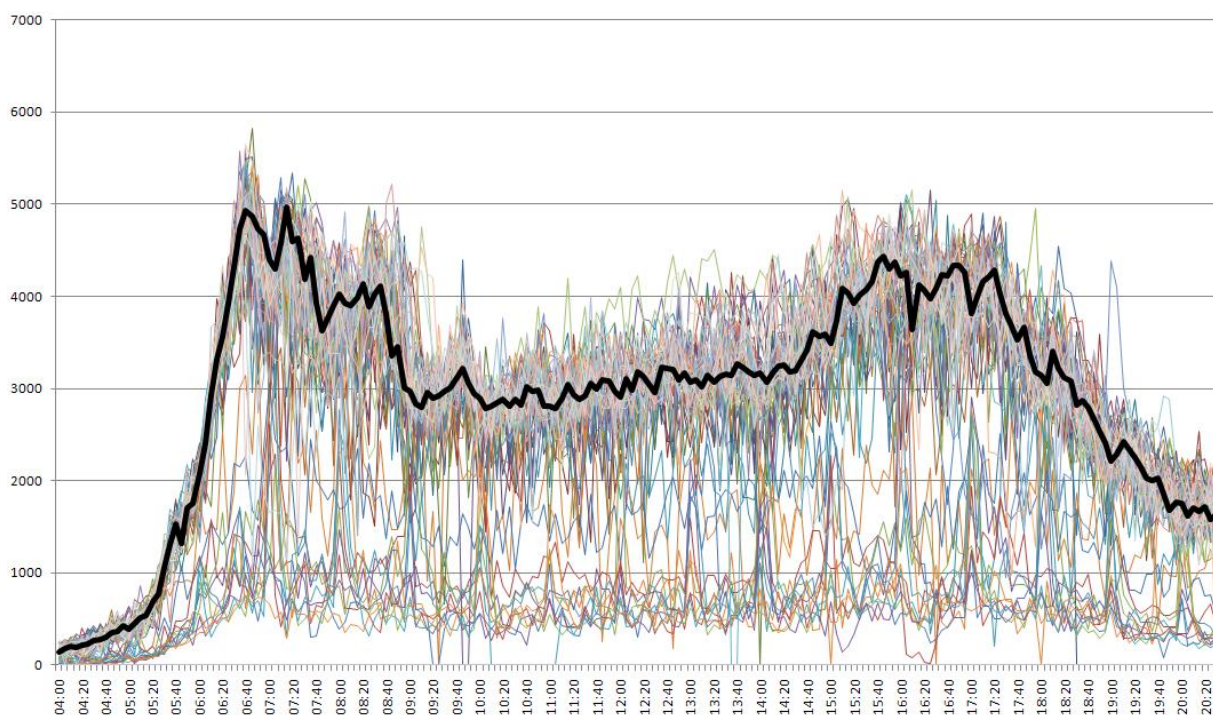


Figur 2.2 Alla dagars flöden från måndagar – fredagar under hösten 2007 plottade på varandra. Mätningen är gjord på E6/E20 i norrgående riktning vid Gårda. Under morgonrusningen mellan cirka 07:00 och 08:30 syns tydligt hur flödet har tvingats ner till följd av köer. Flödet är angivet i fordon/timma.

Nästa steg var att ta fram ett sammanvägt flöde som plottades tillsammans med linjerna för varje dag. Först provades en metod att beräkna medelvärdet för varje enskilt klockslag och lägga in detta, men på grund av mätfel, störningar i trafiken, etc. så hade detta ofta en tendens att hamna under "skogen" av kurvor. Medianen provades att beräknas, men detta hamnade också lågt. Olika percentilnivåer provades, exempelvis 80-percentilen. Denna hamnade relativt bra, men om man teoretiskt bara hade tagit med "rätta flöden" så motsvarade nog 80-percentilen egentligen en lägre percentil. Det är ju inte lätt att veta hur mycket data man ska ta bort, för även dagar då

störningar har gjort att flödet har sett annorlunda ut är ju faktiskt ändå en av dagarna och kanske därför ändå ska tas med.

Efter många försök med olika algoritmer programmerades tillslut den så kallade Stockholmsmodellen. Denna algoritm programmerades till viss del med ledning av en kort beskrivning av hur en algoritm hade sett ut som användes i Stockholm inför det så kallade Stockholmsförsöket. Efter en del justeringar, bland annat med inlagda nollvärdesgallringar, så visade det sig att denna fungerade bäst. Figur 2.3 visar exempel på ett diagram där en sammanvägd linje beräknad med Stockholmsmodellen ligger tillsammans med de andra linjerna. Mer information om vad som gör Stockholmsmodellen mest lämplig kan läsas i diskussionen i avsnitt 2.3.5.



Figur 2.3 Alla dagars flöden tillsammans med den framräknade svarta linjen beräknad med Stockholmsmodellen. Flödet är angivet i fordon/timma.

2.3.3 Algoritm för flöde/tid-diagram

Beskrivning av processen för framtagande av diagram där flöde (respektive hastighet) plottas mot tid. Processen som beskrivs nedan genomförs separat för flöde och hastighet.

1. Mätdata hämtas från Vägverket Region Västs regionala trafikdatabas. Uttag från databasen görs med följande val:
 - a. Ingen uppdelning mellan körfält inom samma körriktning
 - b. Data hämtas i perioden 2007-09-03 kl. 00:00 – 2007-12-17 kl. 00:00 (dvs. 15 veckor)

- c. Upplösningen sätts till var 5:e minut (högsta möjliga upplösning)
 - d. Alla fordonsklasser summeras
 - e. Flöde och hastighet ska redovisas
2. Databasen genererar ett Excelark där flöde och hastighet redovisas var 5:e minut, dygnet runt alla dagar i veckan, för vald period. Det är viktigt att data hämtas från en längre period eftersom enskilda dagar av olika anledningar kan ha avvikande flöden och hastigheter.
3. Flödet respektive hastigheten körs i antingen en percentilberäkning eller i Stockholmsmodellen. Se stycke 2.3.4 respektive 2.3.5 för beskrivningar av dessa.
4. När alla klockslag har körts i en percentilberäkning eller Stockholmsmodellen ritas diagram upp som visar hur flödet och hastigheten ser ut under dagen. Förutom att rita upp den framräknade linjen från percentilberäkningen eller Stockholmsmodellen kan man också rita upp linjerna från de olika dagarna inom mätperioden. De flesta av dagarna ser relativt lika ut, varför en ”massa” av linjer genereras. Dock finns många dagar med avvikande utseende.
5. För att åskådliggöra hur förslagen på skattenivåerna på trängselskatten i Göteborg passar mot flödeskurvorna ritas även skattenivåerna in i diagrammet. Detta görs genom att skattenivåerna läggs in som egna linjer. För att åstadkomma lodräta linjer för skattenivåerna är det nödvändigt att öka tidsupplösningen för all data som presenteras i diagrammet. Detta görs genom linjär interpolering inom varje 5-minutersintervall.

När beräkningsmodellerna togs fram skapades många algoritmer och därmed många källkoder. Samtliga källkoder skrevs i Visual Basic som sedan kördes som makron i MS Excel, direkt i de filer som Vägverket Region Västs databas genererade när man valde att plocka ut flöden och hastigheter med upplösning var femte minut för 15 veckor hösten 2007. Den algoritm som utsågs till den bästa för flöde/tid-diagrammen var Stockholmsmodellen, där data presenteras mellan 04:00 – 20:30. Det var denna algoritm som användes när flödena beräknades för de diagram som Vägverket publicerade i februari 2010 om trängselskatten. Källkoden till algoritmen återfinns i bilaga 1.

2.3.4 Algoritm för olika percentilnivåer

1. Mätdata från de olika dagarna för det specifika klockslaget läggs i en lista. Alla mätdata som är lika med noll tas bort från listan, då detta är måtfel.

2. Listan sorteras med det lägsta värdet först och det högsta värdet sist. Kolumnen där det lägsta värdet står döps till 1, det näst lägsta till 2, osv.
3. Ett av värdena i listan, dvs. mätvärdet från en av dagarna, väljs ut för att representera det aktuella klockslaget. Olika formler används beroende på vilken percentil som ska beräknas och beroende på om det är flöde eller hastighet som beräknas.
 - a. Om det är flödet som beräknas används formeln

$$kolumn = Round((sista\ kolumnen + 1) * percentil) \quad (2.1)$$
 - b. Om det är hastigheten som beräknas används formeln

$$kolumn = Round((sista\ kolumnen + 1) * (1 - percentil)) \quad (2.2)$$
 - c. Resultatet av uträkningen anger vilken kolumn, dvs. vilket mätvärde, som ska representera det aktuella klockslaget.
 - d. Om 70 mätvärden finns med i listan är *sista kolumnen* lika med 70. Om det är 80-percentilen som ska beräknas är *percentil* lika med 0,8. *Round* innebär att svaret avrundas till närmaste heltal. Anledningen till att det är olika uträkningar för flöde och hastighet beror på att extremflödet är högt, medan extremhastigheten är låg.

2.3.5 Algoritm för Stockholmsmodellen

Värt att notera är att Stockholmsmodellen också har används i andra algoritmer än den som användes i trängselskatteprojektet (flöde/tid-diagram). Därför nämns en modell som kallas för Kopplingsmodellen vid några tillfällen. Se stycke 2.4.2 för information om denna.

1. Mätdata från de olika dagarna för det specifika klockslaget läggs i en lista. Alla mätdata som är lika med noll tas bort från listan, då detta är mätfel.
2. Listan sorteras med det lägsta värdet först och det högsta värdet sist. Kolumnen där det lägsta värdet står döps till 1, det näst lägsta till 2, osv.
3. Medelvärdet och standardavvikelsen beräknas utifrån värdena i listan. För standardavvikelsen används formeln

$$\sqrt{2} \times \sqrt{\text{medelvärde}} \quad (2.3)$$
4. Övre och undre gränser beräknas utifrån ett 99,5-procentigt konfidensintervall.

För den undre gränsen används formeln

$$\text{medelvärde} - 2,807 \times \text{standardavvikelsen} \quad (2.4)$$

och för den övre gränsen används

$$\text{medelvärde} + 2,807 \times \text{standardavvikelsen} \quad (2.5)$$

5. Det mätvärde som ligger längst bort från konfidensintervallet tas bort. Det är bara ett värde som tas bort, även om det finns flera värden utanför. Om det är det lägsta värdet som ligger längst bort tas det första värdet bort i listan. Om det är det högsta värdet som ligger längst bort tas det sista värdet bort i listan.
6. Steg 3 – 5 upprepas tills det inte längre finns något mätvärde utanför konfidensintervallet. För varje gång steg 2 – 4 upprepas blir listan med mätvärden således mindre och mindre genom att det första eller sista värdet plockas bort. Således är det också nytt medelvärde, standardavvikelse och konfidensintervall som beräknas varje gång.
7. Medelvärdet beräknas utifrån de kvarvarande värdena i listan. När Stockholmsmodellen används i Kopplingsmodellen är det ett slags medianvärde som beräknas i stället för medelvärdet. Medelvärdet (eller medianvärdet) blir det värde som representerar det aktuella klockslaget.

Diskussion Stockholmsmodellen

Modellen känner av hur tätt mätvärdena ligger varandra och skapar ett spann med en undre och en övre gräns. Det mätvärde som ligger längst utanför spannet tas bort från listan. Utifrån de kvarvarande värdena i listan genomförs en ny beräkning av gränser och det värde som denna gång ligger längst utanför tas bort. På detta sätt försvinner värden allteftersom och listan går åt det håll där tätheten är som störst. Om tätheten mellan mätvärdena exempelvis är störst i den övre halvan av listan tas fler värden bort i den undre halvan. Modellen fortsätter skapa nya gränser och ta bort värden tills det inte längre finns något mätvärde utanför den senast beräknade gränsen. Därefter beräknas medelvärdet av de kvarvarande värdena och detta medelvärde blir det som gäller för klockslaget.

När modellen körs i Kopplingsmodellen måste hastigheten som ska gälla för klockslaget plockas från ett av mätvärdena i listan. Därför beräknas ett slags medianvärde i stället för medelvärdet. Ett normalt medianvärde plockar värdet som ligger i mitten av en sorterad lista om listan har ett ojämnt antal mätvärden. Om antalet mätvärden är jämnt tas medelvärdet av de två mittersta värdena. Eftersom det är en nödvändighet att värdet plockas från ett av mätvärdena plockas det högsta av de två mittersta värdena i detta fall. Eftersom mätvärdena ligger tätt och dessutom är många så spelar det ingen roll om man väljer att plocka det högre eller lägre värdet av de två i mitten i detta fall

Stockholmsmodellen utvecklades när arbete pågick för att ta fram diagram för hur flöden och hastigheter varierar under dagen på olika mätplatser. Redan från början plockades mätdata ut från Vägverkets Region Västs regionala trafikdatabas för hösten 2007. Den första modellen som användes för att skapa en slags medellinje var en linje som tog medelvärdet vid varje enskilt klockslag. Även medianvärdet testades att beräkna. När man plottar alla dagarnas flöden i samma diagram får man dels en

”massa” av linjer som ligger på varandra. Här ligger de flesta linjerna och det är således här som flödet brukar ligga. Utanför ”massan” finns också en mängd linjer, av olika orsaker, dels mätfel och dels störningar i trafiken, hamnar en mängd dagars mätningar utanför ”massan”. Det är oftare som flödet hamnar lägre än högre än ”massan”.

När man kör modellen som ska generera medellinjen vill man att denna ska hamna inom ”massan” och också relativt i mitten av denna. Problemet med medelvärdesberäkning och medianberäkning är att dessa linjer hamnar längre ner än mitten på ”massan”, till följd av att fler flöden ligger lägre än högre om ”massan”. Givetvis kan detta kompenseras genom att man räknar med en högre percentil än 50 (50-percentil är lika med median), men det är svårt att hitta en modell som alstrar linjer som hamnar i mitten för alla mätpunkter. Eftersom olika mätpunkter har olika andel linjer utanför ”massan” skulle en viss percentil i vissa fall generera linjer som ligger för högt och vissa fall för lågt.

Det som alstrar den visuella ”massan” av linjer är att tätheten är störst här. Därför vore det naturligtvis bäst om modellen som ska generera medellinjen för det aktuella klockslaget gör detta efter tätheten. En modell som beräknar tätheten kan givetvis göras på en mängd olika sätt och det finns egentligen inget sätt som är mer rätt eller fel än något annat. Även här gäller svårigheten att försöka hitta en täthetsmodell som genererar bra linjer för alla mätpunkter, då olika mätpunkter har olika förutsättningar.

Grunden i Stockholmsmodellen bygger på att gränser skapas utifrån ett 99,5-procentigt konfidensintervall, där standardavvikelsen beräknas med formeln

$$\sqrt{2} \times \sqrt{\text{medelvärdet}} \quad (2.6)$$

Detta sätt att skapa yttre gränser användes när analyser gjordes för flödeskurvor i Stockholmsförsöket (försök med trängselskatt i Stockholm). Eftersom detta sätt att beräkna de yttre gränserna redan var beprövat valdes att använda samma algoritm även i denna modell. Detta är också anledningen till att modellen har döpts till Stockholmsmodellen.

Hur modellen som användes i Stockholm såg ut var bara nerskrivet kortfattat, varför det inte har gått att utläsa exakt hur den såg ut. Olika tester har gjorts för att försöka skapa en likadan modell, men tester på mätplatserna har visat att en alltför lik modell inte har fungerat särskilt bra. För vissa mätpunkter har exempelvis linjen som genererats legat helt utanför ”massan”. Anledningen till att denna modell inte har fungerat kan bero på att mätpunkterna i Göteborg har innehållit en större mängd felaktig data än vad de gjorde i Stockholm. Det kan också bero på att den knapphändiga informationen om hur modellen i Stockholm såg ut har gjort att modellerna som ska efterlikna denna inte har lyckats programmeras likadant.

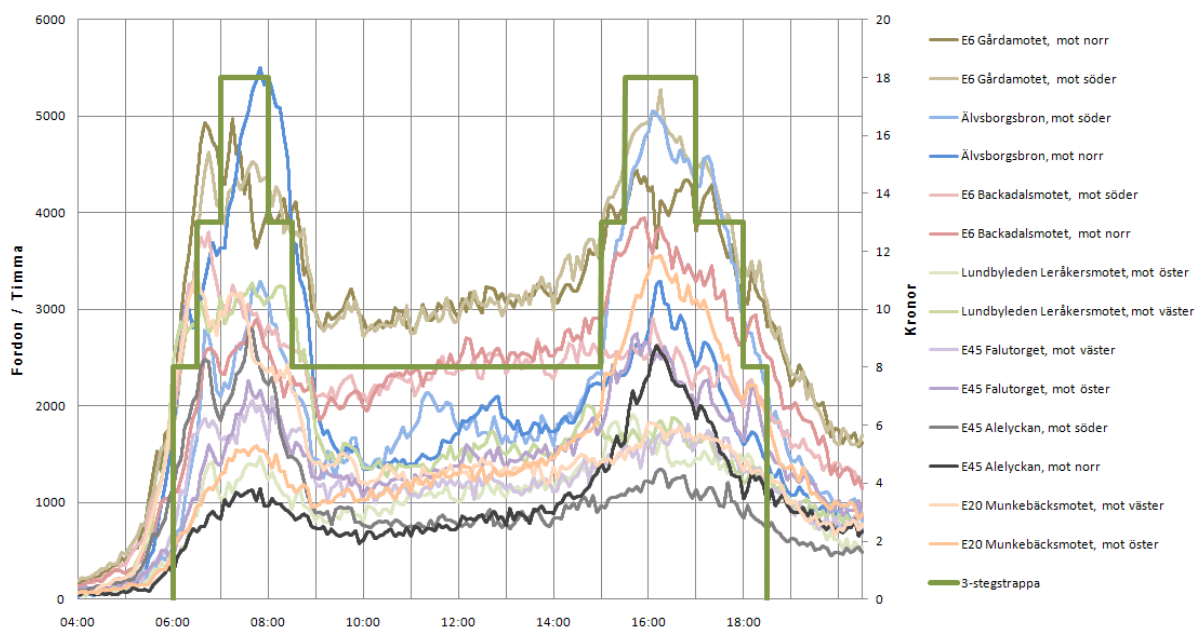
För att få fram en så lämplig modell som möjligt har olika utformningar testats, där alla har innehållit samma grund som användes i Stockholm. Testerna har lett fram till den modell som idag används. Avgörande för att modellen ska fungera är bland annat att det bara är ett mätvärde som tas bort från listan varje gång nya gränser skapas. Det blir fel om man tar bort alla mätvärden som ligger utanför spannet varje gång nya gränser beräknas. Det blir också fel om man tillåter att man kan ta bort ett värde över och ett värde under gränserna varje gång nytt spann räknas ut. Gallringen av

nollvärden i den inledande fasen har också visat sig vara avgörande, då svaret annars i vissa fall hamnar på noll.

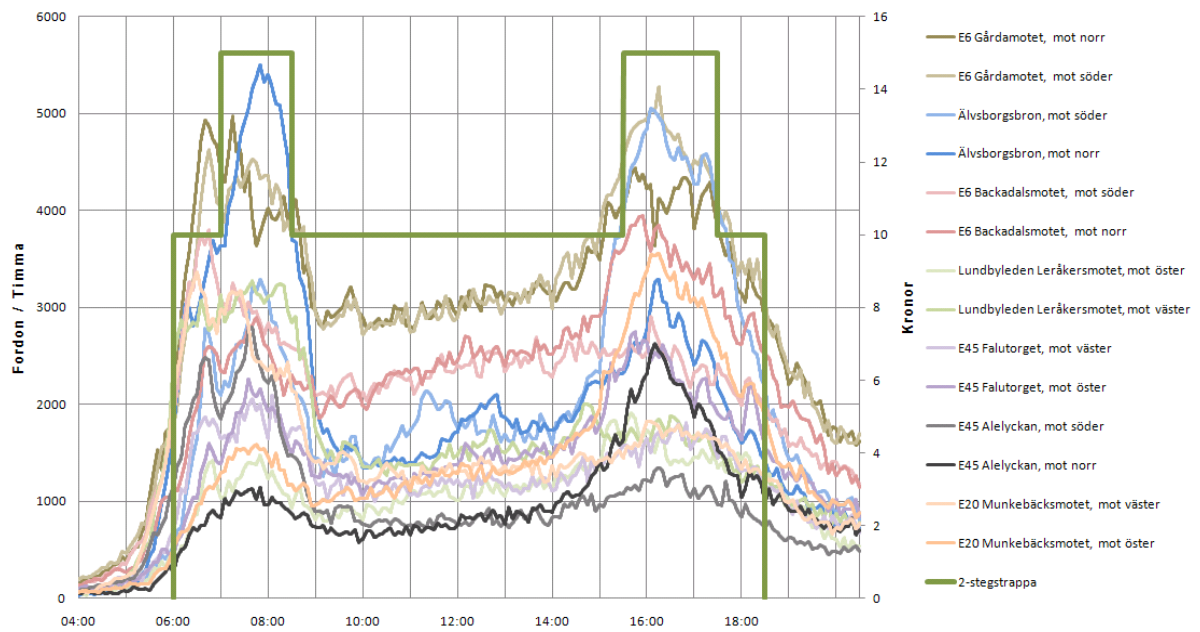
Den nuvarande utformningen av Stockholmsmodellen har visat sig fungera mycket bra. Linjen som genereras hamnar relativt i mitten av "massan" och återspeglar på ett mycket bra sätt ett slags medelvärde för det aktuella klockslaget.

2.3.6 De färdiga diagrammen

Stockholmsmodellen utsågs till den bästa modellen att använda för att beräkna de sammanvägda linjerna. När gruppen utifrån flödesdiagrammen hade bestämt sig för vilka klockslag de olika skattenivåerna skulle gälla så skulle alltsammans presenteras i en rapport. I rapporten ville man också publicera några diagram som illustrativt skulle visa kopplingen mellan flödena och skattenivåerna. Man valde ut några mätplatser och plottade dessa i ett gemensamt diagram tillsammans med de föreslagna skattenivåerna. Två förslag togs fram, en med tre skattenivåer och en med två. Förslaget med tre nivåer var huvudförslaget från gruppen. Figur 2.4 visar diagrammet som användes i rapporten för förslaget med tre nivåer och Figur 2.5 visar diagrammet som användes för förslaget med två nivåer.



Figur 2.4 Flödet från några mätplatser tillsammans med förslaget på tre skattenivåer. Flödeskurvorna är beräknade med Stockholmsmodellen. Detta diagram redovisades i rapporten om trängselskatt som Vägverket publicerade i februari 2010.



Figur 2.5 *Flödet från några mätplatser tillsammans med förslaget på två skattenivåer. Flödeskurvorna är beräknade med Stockholmsmodellen. Detta diagram redovisades i rapporten om trängselskatt som Vägverket publicerade i februari 2010.*

2.4 Trängseldiagram

Efter arbetet i trängselskatteutredningen togs även en annan typ av diagram fram. Detta diagram plottar flödet på den vågräta axeln och hastigheten på den lodräta. Detta diagram visar på ett mycket bra sätt hur hastigheten sjunker i takt med ökat flöde och hur det ser ut när kollapsen inträffar. Figur 2.6 visar ett exempel på ett sådant diagram, plottat under morgonrusningen.

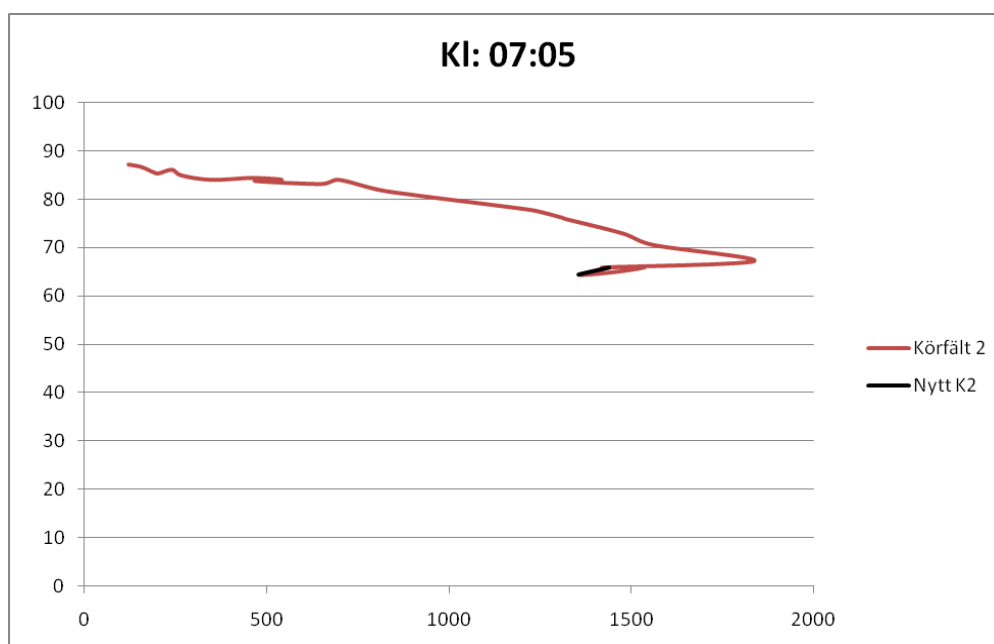


Figur 2.6 Ett av de norrgående körfälten på E6/E20 i Gårda under morgonrusningen, beräknad med Kopplingsmodellen och Stockholmsmodellen, med data från måndagar – fredagar från hösten 2007. Tidigt på morgonen startar linjen upp till vänster och går sedan åt höger (flödet ökar, hastigheten sjunker sakta). Kollapsen inträffar längst till höger i diagrammet och man ser tydligt hur hastigheten kraftigt sjunker och flödet tvingas ner. När tillflödet har minskat släpper kön tillslut och hastigheten går åter upp. Flödet mäts i fordon/timma och hastigheten i km/h.

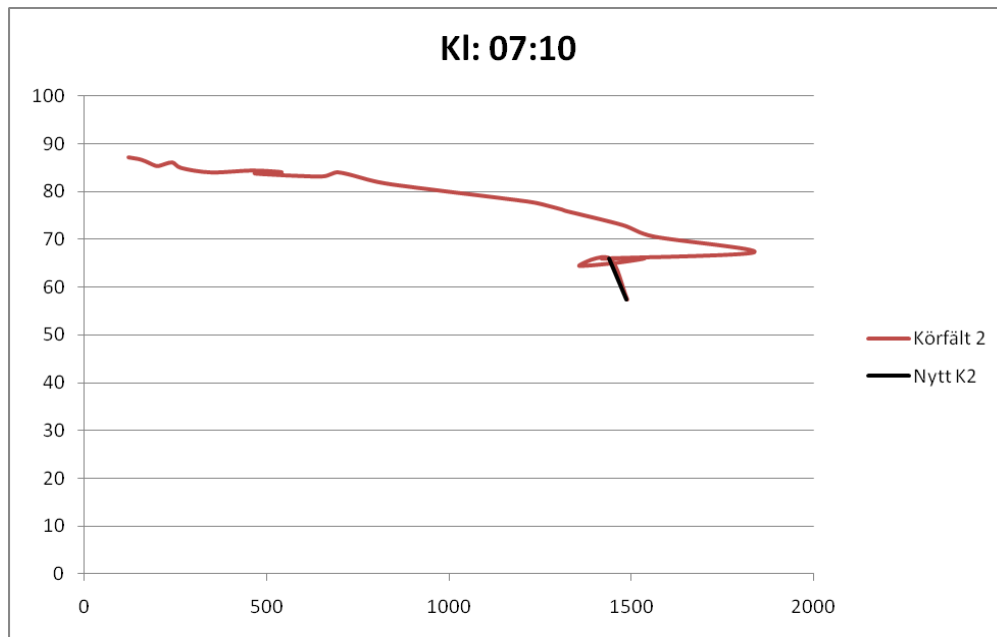
Nackdelen med ett sådant diagram är att man inte kan se vid vilka tidpunkter flödet och hastigheten befinner sig på olika nivåer. Man hade behövt en axel till i diagrammet. Visserligen kan man skapa diagram i tre dimensioner, men ett sådant diagram skulle knappast gå att använda i detta fall eftersom det skulle bli för komplext att utläsa. En variant vore att färga linjerna olika beroende på vilka klockslag de inträffar, men då blir det väldigt oexakt eftersom man inte kan se exakt vilken tid det inträffar. Med olika färger måste man ha samma färg inom ett visst

tidsintervall, exempelvis en färg mellan 7-8, en annan mellan 8-9, osv. Att använda väldigt många färger för att skapa små intervall är heller knappast möjligt eftersom det blir för jobbigt att läsa.

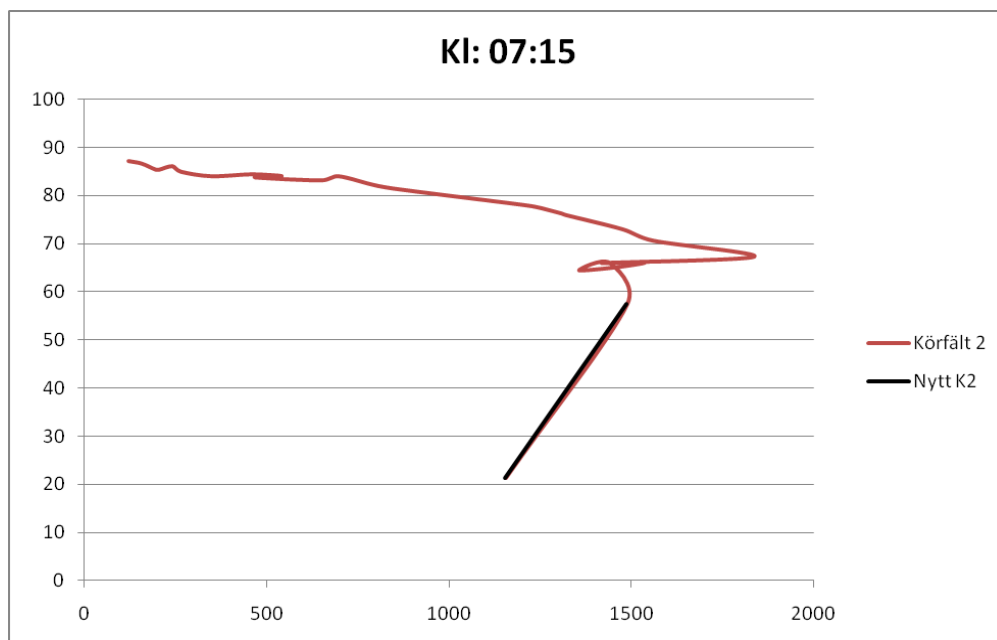
I stället har en annan metod utvecklats. Scriptet programmeras så att den genererar ett diagram var femte minut. Det första diagrammet i serien visar flöde och hastigheten som inträffat mellan 05:00 och 05:05. Det andra diagrammet visar linjen mellan 05:00 – 05:10, osv. Diagram skapas ända fram tills rusningen är över, exempelvis fram till kl 11:00. Det sista diagrammet innehåller då linjen som genererats mellan kl. 05:00 – 11:00. Genom att snabbt växla mellan diagrammen får man illusionen att linjen ”växer fram”. Man kan också se exakt var flödet och hastigheten är vid olika tidpunkter och man kan exempelvis se vid vilken tidpunkt kollapsen inträffar. Figur 2.7 – 2.10 visar exempel på ett utdrag ur en sådan serie. Fyra diagram är utvalda, plockade där kollapsen sker. Den svarta delen av linjerna är den tillagda delen av linjen sedan förra diagrammet i serien.



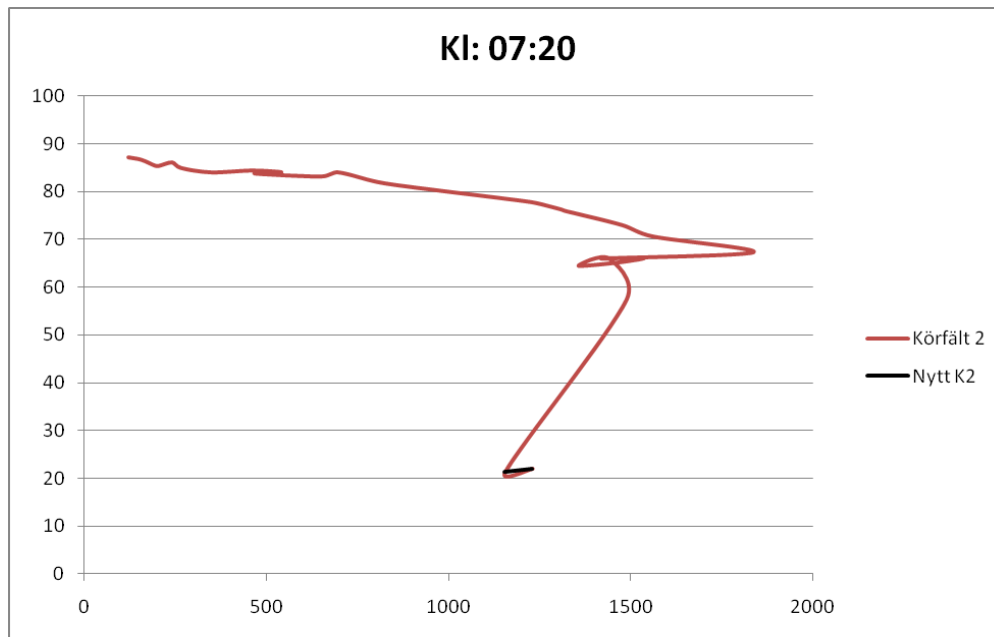
Figur 2.7 Första bilden. E6/E20 i Gårda i norrgående, mittersta körfältet. Beräknad med Kopplingsmodellen och Stockholmsmodellen, data från måndagar till fredagar under hösten 2007.



Figur 2.8 Andra bilden. E6/E20 i Gårda i norrgående, mittersta körfältet. Beräknad med Kopplingsmodellen och Stockholmsmodellen, data från måndagar till fredagar under hösten 2007.



Figur 2.9 Tredje bilden. E6/E20 i Gårda i norrgående, mittersta körfältet. Beräknad med Kopplingsmodellen och Stockholmsmodellen, data från måndagar till fredagar under hösten 2007.



Figur 2.10 Fjärde bilden. E6/E20 i Gårda i norrgående, mittersta körfältet. Beräknad med Kopplingsmodellen och Stockholmsmodellen, data från måndagar till fredagar under hösten 2007.

2.4.1 Algoritmer

Vid skapandet av trängseldiagrammen krävdes särskilda algoritmer för att få fram sammanvägda flöden och hastigheter. Olika algoritmer skapades och testades, vilket till slut ledde fram till två huvudalgoritmer. Den ena kallas för Kopplingsmodellen och den andra för den Separata modellen. Nedan följer en beskrivning och diskussion av dessa två modeller. Bägge modellerna innehåller antingen algoritmen för någon percentilnivå eller algoritmen för Stockholmsmodellen. För att läsa mer specifikt om dessa, se stycke 2.3.4 respektive 2.3.5.

2.4.2 Kopplingsmodellen

1. Data över flöde och hastighet hämtas från databas. Databasen genererar data för varje enskilt körfält på den valda mätplatsen. Data fås för varje femte minut dygnet runt för vald period. Perioden som väljs är 3/9-07 till 14/12-07. Detta är den period som hittills haft mest trafik.
2. Data plockas bort som ligger utanför måndagar – fredagar kl. 05 – 19. Även nollvärden plockas bort eftersom nollvärden är mätfel.
3. Hastighetsdata från alla dagar för den första 5-minutersperioden (kl. 05:00 – 05:05) läggs i en lista. De hastigheter som är lika med noll är mätfel, varför dessa plockas bort. En av hastigheterna i listan väljs ut som den hastighet som ska

representera den aktuella 5-minutersperioden. Detta väljs genom att en beräkningsmodell körs. Två olika beräkningsmodeller kan köras, dels en modell som beräknar den hastighet som ligger på en viss percentilnivå och dels Stockholmsmodellen.

4. Från listan med hastigheter hämtas den utvalda hastigheten. Även de fyra hastigheterna som ligger närmast under och över väljs ut. Dessa nio hastigheter läggs i en ny lista.
5. De nio uppmätta flödena, som inträffade samma dagar som de nio hastigheterna, läggs i en lista. De flöden som är lika med noll är mätfel, varför dessa plockas bort. Listan sorteras och det flöde som hamnar i mitten (medianflödet) väljs ut som det flöde som ska representera den aktuella 5-minutersperioden.
6. Steg 3 – 5 upprepas för alla 5-minutersperioder under förmiddagen och eftermiddagen. När detta är klart har en hastighet och ett flöde valts ut att representera varje 5-minutersperiod mellan kl. 05 – 11 och 13 – 19.
7. Steg 3 – 6 utförs flera gånger, en gång för varje beräkningsmodell (olika percentilnivåer och Stockholmsmodellen). Stegen körs för varje körfält och olika mätplatser.
8. När alla beräkningar är klara ska allt plottas i diagram. Flödet plottas på den vågräta axeln och hastigheten på den lodräta. I samma diagram kan man lägga in resultatet från flera olika beräkningar. Exempelvis kan man lägga in resultatet från olika körfält som genomgått samma beräkningsmodell. Man kan istället välja att visa resultatet från samma körfält fast med olika beräkningsmodeller, dvs. olika percentiler och Stockholmsmodellen.
9. När man plottar hastigheten mot flödet i ett diagram kan man inte se vid vilka tidpunkter olika hastigheter och flöden inträffar. Därför genererar modellen automatiskt flera diagram. Det första plottar linjen för kl. 05:00 – 05:05, det andra plottar linjen 05:00 – 05:10, det tredje 05:00 – 05:15, osv. Det sista diagrammet plottar hela linjen för förmiddagen, dvs. 05:00 – 11:00. På samma sätt plottas diagrammen för eftermiddagen, kl. 13 – 19. Genom att titta på diagrammen efter varandra ser man hur linjen ”växer fram”.

2.4.3 Den separata modellen

1. Data över flöde och hastighet hämtas från databas. Databasen generar data för varje enskilt körfält på den valda mätplatsen. Data fås för varje femte minut dygnet runt för vald period. Perioden som väljs är 3/9-07 till 14/12-07. Detta är den period som hittills haft mest trafik.

2. Data plockas bort som ligger utanför måndagar – fredagar kl. 05 – 19. Även nollvärden plockas bort eftersom nollvärden är mätfel.
3. Hastighetsdata från alla dagar för den första 5-minutersperioden (kl. 05:00 – 05:05) läggs i en lista. De hastigheter som är lika med noll är mätfel, varför dessa plockas bort. En hastighet väljs ut som den hastighet som ska representera den aktuella 5-minutersperioden. Detta väljs ut genom att en beräkningsmodell körs. Två olika beräkningsmodeller kan köras, dels en modell som beräknar den hastighet som ligger på en viss percentilnivå och dels Stockholmsmodellen.
4. Flödesdata från alla dagar för den första 5-minutersperioden (kl. 05:00 – 05:05) läggs i en lista. De flöden som är lika med noll är mätfel, varför dessa plockas bort. Ett flöde väljs som det flöde som ska representera den aktuella 5-minutersperioden. Detta väljs ut genom att en beräkningsmodell körs. Två olika beräkningsmodeller kan köras, dels en modell som beräknar det flöde som ligger på en viss percentilnivå och dels Stockholmsmodellen.
5. Steg 3 – 4 upprepas för alla 5-minutersperioder under förmiddagen och eftermiddagen. När detta är klart har en hastighet och ett flöde valts ut att representera varje 5-minutersperiod mellan kl. 05 – 11 och 13 – 19.
6. Steg 3 – 5 utförs flera gånger, en gång för varje beräkningsmodell (olika percentilnivåer och Stockholmsmodellen). Stegen körs för varje körfält och olika mätplatser.
7. När alla beräkningar är klara ska allt plottas i olika diagram. Flödet plottas på den vågräta axeln och hastigheten på den lodräta. I samma diagram kan man lägga in resultatet från flera olika beräkningar. Exempelvis kan man lägga in resultatet från olika körfält som genomgått samma beräkningsmodell. Man kan istället välja att visa resultatet från samma körfält fast med olika beräkningsmodeller, dvs. olika percentiler och Stockholmsmodellen.
8. När man plottar hastigheten mot flödet i ett diagram kan man inte se vid vilka tidpunkter olika hastigheter och flöden inträffar. Därför genererar modellen automatiskt flera diagram. Det första plottar linjen för kl. 05:00 – 05:05, det andra plottar linjen 05:00 – 05:10, det tredje 05:00 – 05:15, osv. Det sista diagrammet plottar hela linjen för förmiddagen, dvs. 05:00 – 11:00. På samma sätt plottas diagrammen för eftermiddagen, kl. 13 – 19. Genom att titta på diagrammen efter varandra ser man hur linjen ”växer fram”.

2.4.4 Diskussion och jämförelse

Bägge modellerna väljer ut en hastighet som ska representera varje 5-minutersperiod. Detta görs i båda modellerna genom att en percentilberäkning eller Stockholmsmodellen körs. När flödet ska beräknas i Kopplingsmodellen görs detta utifrån vad beräkningen av hastigheten gav för resultat. I den Separata modellen beräknas flödet precis som hastigheten genom en percentilberäkning eller Stockholmsmodellen. Detta innebär att flödet som beräknas i Kopplingsmodellen görs beroende av vilken hastighet som beräknades, medan flödet beräknas oberoende av hastigheten i den Separata modellen.

För att testa hur väl modellerna stämmer med verkligheten kan man plotta hastigheten mot flödet för alla dagar som ligger till grund för beräkningarna. Vissa dagar har naturligtvis haft ett avvikande flöde och hastighet mot det normala, vilket gör att linjer plottas lite här och var i diagrammet. Dock finns oftast en synbar ”massa” av linjer. Genom att plotta linjen som genereras i modellen i samma diagram kan man se om denna ligger inom ”massan”.

Även om den Separata modellen beräknar flöde och hastighet oberoende av varandra så stämmer oftast den plottade linjen överens med de verkliga linjerna för de olika dagarna. Detta beror på sambandet att när ett extremt flöde inträffar så inträffar också en extrem hastighet. Beakta skillnaden att ett en extrem hastighet är en låg hastighet (nästan helt stillastående trafik), medan ett extremt flöde är ett högt flöde. Percentilberäkningarna tar givetvis hänsyn till detta motsatta förhållande.

Detta gör att den Separata modellen fungerar överlag bra, trots att hastigheten och flödet beräknas oberoende av varandra. Dock finns flera fall där den plottade linjen inte ligger trovärdigt rätt placerad inom ”massan” av linjer eller till och med hamnar helt utanför ”massan”. Detta beror på att sambandet mellan flöde och hastighet är komplext och inte gäller fullt ut. Detta gör att det finns behov av en bättre modell, vilket gett upphov till Kopplingsmodellen.

Vill man skapa ett fullständigt beroende mellan hastighet och flöde kan man välja det flöde som inträffar samma dag som den utvalda hastigheten. Om beräkningsmodellen (någon percentilberäkning eller Stockholmsmodellen) exempelvis räknar ut att hastigheten från dag 3 ska representera det aktuella klockslaget kan man välja flödet från samma dag. Problemet med en sådan modell är att linjen alltför ofta avviker från ”massan”. Exempelvis kan dag 3 vara en dag där flödet inte alls stämmer överens med det normala. Även om flödet avviker från det normala kan hastigheten ligga relativt normalt, varför det inte är konstigt att hastigheten från dag 3 väljs ut att representera klockslaget även om flödet från samma dag inte är lämpligt att använda. Rent generellt är det dock relativt ovanligt att flödet från samma dag som den utvalda hastigheten avviker, men ibland inträffar det.

Detta gör att man måste hitta en modell som ligger någonstans mellan helt oberoende och helt beroende mellan hastighet och flöde. Det är på detta sätt som Kopplingsmodellen fungerar. Först väljs en hastighet ut med hjälp av en percentilberäkning eller Stockholmsmodellen. Från en sorterad lista noteras även vilka fyra hastigheter som ligger närmast över och under den utvalda hastigheten. Medräknat den utvalda hastigheten är det alltså nio hastigheter som noteras. Flödena som uppmättes samma dagar som dessa hastigheter noteras. Flödena sorteras i en

lista, nollvärden plockas bort och därefter beräknas medianflödet. Medianflödet blir det flöde som representerar det aktuella klockslaget.

Detta innebär att det utvalda flödet kan plockas från vilken av dessa nio dagar som helst. Det måste inte vara samma dag som hastigheten plockades från. Detta gör också att risken minskar avsevärt att det utvalda flödet ska avvika från det normala. Även om flödet som uppmättes samma dag som den utvalda hastigheten avviker så är det väldigt osannolikt att medianflödet av dessa nio gör det. Rent generellt ligger alla dessa nio flöden väldigt normalt och sannolikheten att alla nio ska ligga onormalt är extremt liten. Av alla tester som gjorts med Kopplingsmodellen finns det inget fall som noterats där linjen som genererats legat fel utifrån ”massan”.

Hade modellen tagit med fler än fyra flöden på var sida om den utvalda hastigheten hade modellen gått mer åt det oberoende hållet. Hade modellen noterat alla flöden hade modellen i princip fungerat likadant som den Separata modellen. Fyra flöden på var sida har visat sig vara en bra avvägning.

Något som också har testats är att vända på i vilken ordning flöde och hastighet beräknas. Det finns inget som säger att hastigheten måste räknas först och därefter flödet. Man kan lika gärna vända på ordningen och låta flödet genomgå percentilberäkning eller Stockholmsmodellen och därefter beräkna hastigheten utifrån det framräknade flödet. Denna modell kallas för den Omvända kopplingsmodellen. Linjerna som genereras i Kopplingsmodellen och den Omvända kopplingsmodellen är relativt lika, men efter att ha studerat många diagram har Kopplingsmodellen visat sig vara bättre. Den omvända kopplingsmodellen har en viss tendens att underskatta hur mycket hastigheterna går ner, även om båda modellerna ligger rätt i förhållande till ”massan”.

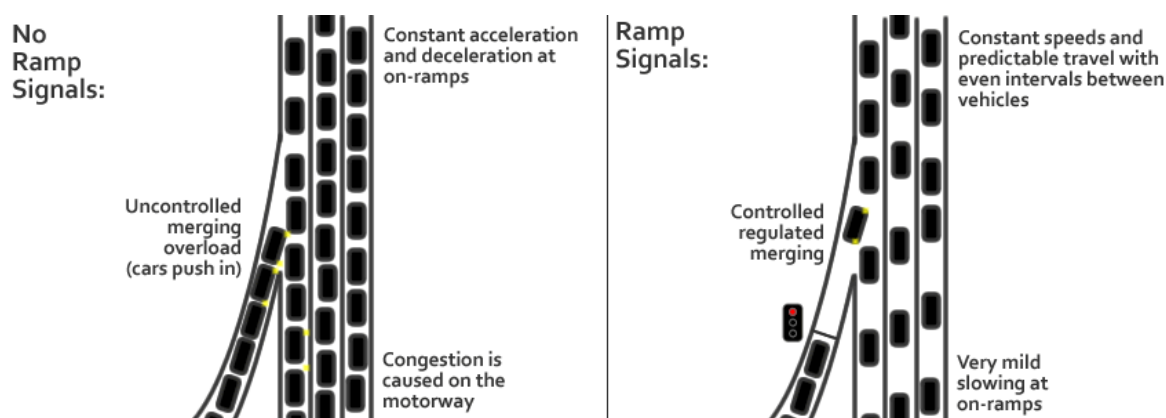
3 Påfartsreglering

3.1 Bakgrund

På många håll i världen finns trängselproblem på hårt belastade motorvägar. Trängselproblemen beror oftast på att efterfrågan på resande är större än vägens kapacitet. I många fall är vägens generella kapacitet tillräckligt hög, men att någon eller några platser har lägre kapacitet. Sådana platser benämns flaskhalsar och kan exempelvis vara en trafikplats där påfarten ska väva ihop med ordinarie körfält. När tillflödet till flaskhalsen är större än kapaciteten bildas köer uppströms flaskhalsen. När en trafikant hamnar sist i kön kan denna befinna sig flera kilometer från flaskhalsen. Omedelbart efter flaskhalsen är det vanligt att kön släpper och hastigheten markant ökar igen.

3.2 Inledning

När flaskhalsen består av en påfartsvävning är oftast trafikmängden på både motorvägen och påfarten relativt höga. När trafiken ska väva ut på de ordinarie fälten tvingas trafiken på motorvägen att bromsa för att skapa luckor som kan svälja den tillkommande trafiken. Bromsningen sprider sig från den ena bilen till den andra och trafiken flyter allt långsammare allt längre uppströms påfarten. Värst blir problemen om många fordon kommer ut samtidigt på påfarten. Då blir det ännu svårare för alla att hitta en lucka, vilket gör att trafiken på motorvägen måste bromsa ännu mer. Att många fordon kommer samtidigt kan bero på olika saker, exempelvis att en långtradare har hunnit samla på sig några bilar, att påfarten föregås av en trafiksignal eller att slumpen har gjort att många fordon kommer samtidigt. När vågen av fordon har passerat är det inte ovanligt att detta följs av en period där det inte kommer något fordon alls. Efter ett tag kommer sedan en ny våg av fordon igen. Figur 3.1 visar hur situationen kan se ut med och utan en påfartsreglering.



Figur 3.1 *Situationen på motorväg med vänstertrafik. Utan påfartsreglering till vänster och med påfartsreglering till höger. Trafiken på motorvägen flyter mycket bättre med påfartsreglering. (Auckland Motorways)*

Att låta fordonen komma på detta ojämna vis, först många på en gång, sedan ingen alls, är det sämsta tänkbara sättet. Det optimala vore om fordonen kommer en och en och kommer helt jämnt fördelade över tiden, dvs. att det exempelvis kommer ett fordon var tionde sekund. Då blir det lättare för fordonen att hitta en lucka och trafiken på motorvägen slipper ändra sitt körsätt till följd av påfarten. Det är här som påfartsreglering kommer in i bilden. Genom att sätta upp en trafiksignal på påfartsrampen styr man hur ofta fordonen kan köra ut på motorvägen. Trafiksignalen skiljer sig från andra signaler på det sättet att den oftast bara tillåter ett fordon att passera per grönperiod. Grönperioden är således mycket kort, varpå den visar rött i några sekunder. Genom att ställa in hur ofta grönperioderna inträffar kan man släppa ut precis så många fordon man för tillfället tycker är mest lämpligt.

En påfartsreglering bidrar till att trafiken på motorvägen flyter bättre, men bidrar å andra sidan till att trafiken flyter sämre på påfarten. För att påfartsregleringen ska fylla någon funktion är det naturligtvis en förutsättning att nyttan av restidsförkortningen på motorvägen är större än restidsförlängningen på påfarten. För att påfartsreglering ska vara lämpligt att använda måste också påfarten uppfylla vissa krav. Beroende på hur ofta signalen visar grönt kan man släppa ut olika många fordon per timma. Det är inte lämpligt att släppa ut ett fordon oftare än var fjärde sekund, vilket motsvarar 900 fordon/timma. Detta innebär också att om påfartens tillflöde är högre än 900 fordon/timma kommer kön på påfarten successivt växa. Även om påfartsrampen är lång kommer kön tillslut att gå ut på angränsande lokalväg, något som orsakar problem även för trafik som inte alls ska till motorvägen. Vill man använda påfartsreglering i detta fall bör man bredda påfartsrampen till två körfält. Med två körfält kan man släppa ut fordonen oftare än var fjärde sekund och dessutom får man plats med fler köande fordon inom påfartssträckan. Ska man bredda rampen innebär detta ofta en relativt hög kostnad och då kanske man i stället ska fundera på andra lösningar, exempelvis att lägga till ett körfält på motorvägen nedströms påfarten. (*California State, 2000*)

Under förutsättning att trafikmängden håller sig under 900 fordon/timma kan man använda sig av ett körfält på påfartsrampen. Även om man teoretiskt kan släppa iväg 900 fordon/timma är det bättre för trafiken på motorvägen om man släpper iväg färre bilar. Det gäller att optimera värdet efter förhållandena på motorvägen och förhållandena på påfarten. Eftersom förutsättningarna hela tiden ändras styrs detta momentant med hjälp av slingor som sitter både på motorvägen och på påfarten. Hur många fordon som ska släppas iväg styrs beroende på hur trafiksituationen ser ut på motorvägen. I de flesta fall sitter mätslingan efter påfarten (nedströms), men i många fall kompletteras denna med en slinga som sitter före påfarten (uppströms). För att undvika att köerna växer sig alltför långa på påfarten är det viktigt med slingor även här. Det är viktigt att upptäcka om köerna ökar så pass mycket att det börjar bli nära att kön ska gå ut på lokalvägnätet. Om kön närmar sig denna gräns måste man ingripa genom att öka påsläppet så att fler fordon kan passera ut på motorvägen. Det är viktigt att man upptäcker köns tillväxt en bit in på påfarten, för om man bara har avkänning precis i början av påfarten är det inte säkert att man hinner få bukt med problemet. Figur 3.2 visar exempel på påfartsreglering med ett körfält.



Figur 3.2 Påfartsreglering med ett körfält på motorväg med vänstertrafik. (Auckland Motorways)

3.3 Algoritmer

Med hänsyn till trafikläget bestäms alltså hur ofta fordonen ska släppas ut från påfarten. Det finns ingen självklar algoritm för hur detta ska göras, utan det finns många algoritmer som används för detta. Forskning pågår kontinuerligt för att konstruera bättre algoritmer.

En av de enklaste algoritmerna bygger på att man släpper ut så många fordon som möjligt med hänsyn till maxkapaciteten på motorvägen nedströms påfarten. Om maxkapaciteten nedströms exempelvis är 5400 fordon/timma och det är 4700 fordon/timma på motorvägen uppströms påfarten kan man släppa ut mellanskillnaden, dvs. 700 fordon/timma. Om efterfrågan är tillräckligt stor på påfarten ser man alltså till att utnyttja kapaciteten maximalt nedströms påfarten. Maxkapaciteten kan man räkna ut, så egentligen kräver denna typ av lösning egentligen bara en avkännings slinga. Denna kan antingen placeras före eller efter påfarten på motorvägen. För själva algoritmen behöver man egentligen ingen avkänning på påfarten, men detta är ändå lämpligt att använda för att exempelvis undvika att kön växer ut på lokalvägnätet. Om man inte vill använda maxkapaciteten nedströms påfarten kan man givetvis ställa in att man aldrig går över en annan lägre nivå. Att använda maxkapaciteten innebär givetvis en större risk för problem än om man använder en lägre gräns. Den lokala situationen som råder bör ligga till grund för vilken nivå man väljer, bland annat hur stort behovet är på påfarten. (KTH)

En annan mer avancerad algoritm är ALINEA. Den utvecklades i början av 1990-talet av Papageorgiou och används idag i många länder. Algoritmen bygger på att flödet som släpps ut från påfarten hela tiden anpassas efter situationen som råder på

motorvägen. Till viss del liknar denna den tidigare beskrivna algoritmen, men tack vare några faktorer kan denna anpassas mer efter de förhållanden som råder i den aktuella trafikplatsen.

Algoritmen använder denna formel

$$r(k) = r(k - 1) + K_R \cdot (\hat{O} - O_{out}(k)) \quad (3.1)$$

$r(k)$ är flödet från påfarten som ska börja gälla [*fordon/timma*]

$r(k - 1)$ är flödet från påfarten som gäller just nu [*fordon/timma*]

K_R är en konstant [-]

\hat{O} är den belastningsgrad som önskas uppnås nedströms påfarten [-]

$O_{out}(k)$ är den belastningsgrad nedströms påfarten som gäller just nu [-]

Ett nytt utsläppsflöde beräknas med jämna mellanrum. Uppdateringsfrekvensen ligger oftast någonstans mellan 30 sekunder och 5 minuter, men allra mest optimalt är tider på ca 30 – 60 sekunder. Belastningsgrad innebär en viss procent mot maxutnyttjande. En belastningsgrad på 100 % innebär att alla fordon står efter varandra utan mellanrum, givetvis inte praktiskt möjligt. För att algoritmen ska fungera behövs en avkännings slinga belägen på motorvägen nedströms påfarten. Det finns inte angivet något exakt avstånd hur långt nedströms påfarten som slingan ska placeras, men det är viktigt att slingan inte placeras alltför långt bort, störningen som påfarten genererar ska fortfarande vara kännbar. Om utsläppsflödet uppdateras ofta, dvs. en hög frekvens, ska avkänningspunkten vara närmare påfarten, annars kan en eftersläpningseffekt uppkomma.

Oftast ligger slingan 40 – 500 meter nedströms början av påfarten, men forskning har visat att det mest optimala avståndet ligger på cirka 120 – 140 meter. Konstanten K_R bör ligga någonstans mellan 70 och 200. Belastningsgraden som önskas uppnås bör ligga på 19 % – 21 % eller 30 % - 31 % har forskning visat. (*Chu, Yang, 2003*)

Ovanstående algoritmer anpassar flödet som släpps ut från påfarten enbart med hänsyn till situationen på motorvägen. Vad som också bör påverka flödet som släpps ut är hur lång kön är på påfarten. I många fall kan man tillåta att kön växer ända bak till början på påfartsrampen, men inte längre. Att kön växer ut på lokalvägnätet vill man oftast undvika eftersom detta i de flesta fall orsakar problem för övrig trafik som inte alls är på väg till motorvägen. Det som avgör hur ofta fordonen tillåts köra ut från påfarten är i realiteten hur ofta signalen visar grönt. Förutom att detta avgörs av

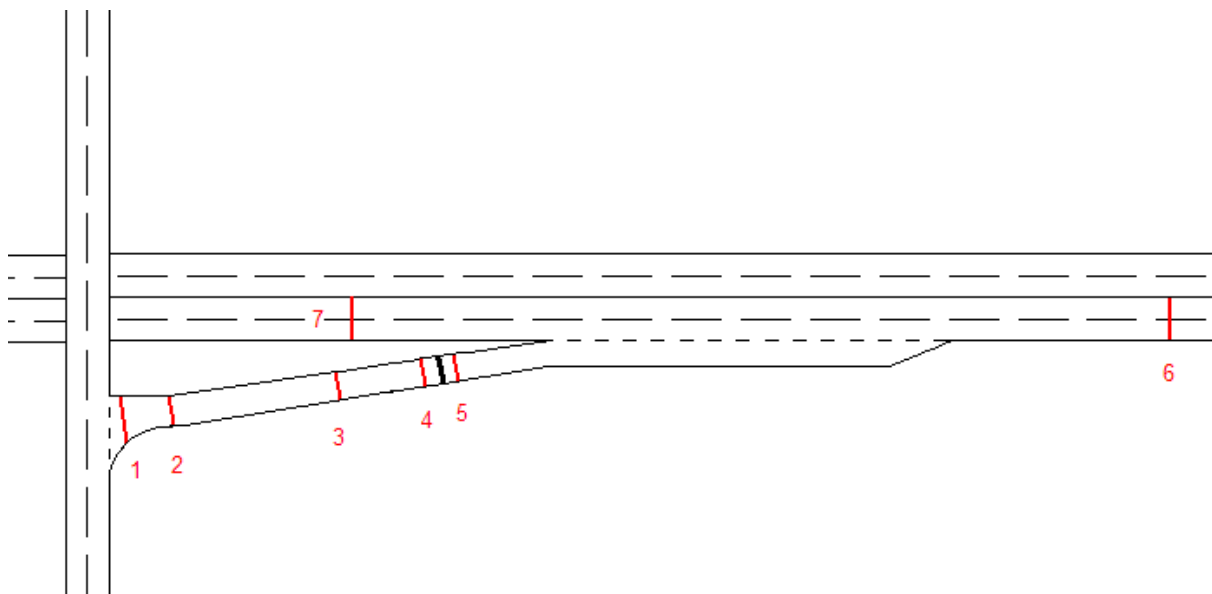
situationen på motorvägen och kösituationen på påfarten så bestäms detta också av hur snabbt fordonen kör iväg från trafiksignalen. När signalen slår om till grönt, men fordonet är långsamt iväg, måste signalen fortsätta visa grönt tills fordonen har passerat signalen. Om fordonet som kör iväg är ett tungt fordon bör rödtiden förlängas för att undvika att bakomvarande fordon hinner ikapp det tunga fordonet innan detta har kommit ut på motorvägen. Om det bakomvarande fordonet också är ett tungt fordon behöver man inte förlänga tiden.

Om slingorna som sitter på motorvägen indikerar att trafikmängden är låg ska trafiksignalen vara släckt. I början på påfarten ska det sitta en varningsskylt som upplyser trafikanterna om att det sitter en trafiksignal längre fram. Den skylten bör på något sätt vara omställbar så att trafikanterna direkt får vetskap huruvida signalen är i bruk eller inte. Exempelvis kan man sätta upp lampor ovanför den traditionella varningsskylten för trafiksignal. Om signalen är påslagen ska lamporna blinka, inte annars. Man kan också tänka sig någon form av digital skylt där man kan tända och släcka olika symboler och meddelanden. Vid trafiksignalen ska det sitta en tilläggstavla med information om att bara ett fordon per grönperiod får passera signalen.

Om trafiksignalen är aktiverad men inget fordon befinner sig på påfarten före trafiksignalen, ska signalen visa konstant rött. När ett fordon närmar sig signalen ska den slå om till grönt. När fordonet har passerat signalen ska den slå om till gult och sedan till rött. För att styra signalen krävs således flera slingor. Några slingor är mer eller mindre helt nödvändiga, medan vissa kan användas för att styrningen ska fungera bättre. Olika trafikplatser kan ha olika förutsättningar, vilket gör att olika trafikplatser kan kräva olika många slingor.

3.4 Exempel på slingor och algoritm

Den optimala placeringen på slingorna varierar alltså mellan olika trafikplatser. Olika antal slingor ger också olika antal förutsättningar för hur väl algoritmen som styr trafiksignalen fungerar. Beroende på var slingorna är placerade ser också algoritmen olika ut. Figur 3.3 visar ett exempel på var slingorna ska placeras och exempel på algoritm:



Figur 3.3 Skiss över slingornas placering

Slinga 1 – Detektering av kö #1

Slinga 2 – Detektering av kö #2

Slinga 3 – Fordonsavkänning före trafiksignal #1

Slinga 4 – Fordonsavkänning före trafiksignal #2

Slinga 5 – Fordonsavkänning efter trafiksignal

Slinga 6 – Flödesräkning nedströms påfarten

Slinga 7 – Hastighetsdetektering uppströms påfarten

Kortfattad beskrivning av algoritmen

1. Om slinga 6 detekterar ett lägre flöde än ett visst antal fordon/timma och slinga 7 detekterar en högre hastighet än en viss km/timma ska trafiksignalen vara avstängd. I början på påfarten ska någon form av omställbar skylt indikera att trafiksignalen är släckt. Vilket flöde som ska utgöra gränsen, dvs. vilken belastningsgrad, får man när systemet är nysinstallerat testa sig fram för att finna det mest lämpliga värdet. Även vilken gräns för hastigheten som är lämplig får man testa sig fram.
2. Om slinga 6 detekterar ett högre flöde än ett visst antal fordon/timma eller om slinga 7 detekterar en lägre hastighet än en viss km/timma ska trafiksignalen vara påslagen. I början på påfarten ska någon form av omställbar skylt indikera att trafiksignalen är aktiverad. Nedanstående steg körs bara om signalen är påslagen.

3. Om varken slinga 3 eller 4 indikerar något fordon ska signalen visa konstant rött. Slinga 3 används som ett komplement till slinga 4. Om fordonet som väntar på grön signal stannar en bit före signalen indikerar inte slinga 4 att någon står och väntar, varför slinga 3 behövs.
4. Om slinga 3 och/eller 4 indikerar ett fordon ska nedanstående steg köras. Första gången slinga 3 och/eller 4 indikerar ett fordon slår signalen omedelbart om till grönt.
5. När slinga 5 därefter indikerar ett fordon innebär detta att fordonet har passerat signalen. När detta sker slår signalen om till gult och efter ytterligare någon sekund till rött. Tiden för gult kan hållas kort eftersom det inte finns något ytterligare fordon som ska passera signalen. I vissa länder struntar man helt och hållet i att visa gult, men troligtvis behövs den gula signalen av juridiska skäl.
6. En variabel styr hur länge signalen ska vänta mellan grönperioderna. Variabeln kallas för m och är lika med tiden i sekunder. Tiden mellan grönperioderna inkluderar tiden för gult, tiden för rött och tiden för rött/gult (när signalen slår tillbaka till grönt). Tiden för gult och tiden för rött/gult är fasta tider, exempelvis två sekunder för gult och en sekund för rött/gult. Detta innebär att tiden för rött är lika med $m - 3$ sekunder.
7. Efter tiden för m slår signalen åter om till grönt, varpå steg 5 – 6 körs igen. Om slinga 5 indikerar att fordonet som precis har passerat signalen är ett tungt fordon, samtidigt som slinga 3 eller 4 indikerar att bakomvarande fordon är ett lätt fordon, ökas m , dvs. tiden innan nästa grönperiod inträffar blir längre. Detta görs för att undvika att bakomvarande lätta fordon ska hinna ikapp det tunga fordonet.
8. Parallellt med steg 5 – 7 uppdateras tiden för m med jämna mellanrum, förslagsvis var 45:e sekund. Uppdateringen görs i form av ALINEA-algoritmen, som läser av belastningsgraden på motorvägen nedströms påfarten. Vilka värden man väljer att använda i formeln, dvs. vilken önskad belastningsgrad och K_R , bör väljas efter lokala förhållandena som råder i trafikplatsen. När systemet är nyinstallerat kan man testa olika värden och se vilka som ger bäst resultat. Givetvis bör man lägga sig inom de gränser som forskning har visat vara de mest lämpliga, dvs. en önskad belastningsgrad mellan 19 – 21 % eller 30 – 31 %, samt K_R mellan 70 – 200.
9. Om slinga 2 indikerar stillastående fordon sänker man tiden för m , oavsett vad ALINEA-algoritmen beräknar. Antingen kan man sänka m till något förutbestämt värde, eller kan man sänka den till en viss andel av vad

ALINEA-algoritmen beräknar. När systemet är nyinstallerat kan man testa olika värden för att se vilket som ger bäst resultat. Om slinga 2 efter några minuter fortfarande indikerar stillastående fordon bör man sänka m ytterligare. När slinga 2 inte längre indikerar stillastående fordon kan man efter några minuter successivt låta m närma sig det värde som ALINEA-algoritmen beräknar.

10. Om slinga 1 indikerar stillastående fordon måste man kraftigt minska m , kanske till och med slå av signalen helt och hållet. Om slinga 1 indikerar stillastående fordon är detta ett misslyckande, målsättningen är att kön aldrig ska nå så här långt tack vare åtgärder då slinga 2 indikerar stillastående fordon. Exakt vilken åtgärd man vidtar om slinga 1 indikerar stillastående fordon beror på hur viktigt man tycker det är att undvika kö på lokalvägnätet kontra hur viktigt det är att behålla framkomligheten på motorvägen. Om man stänger av signalen i detta läge kan man förvänta sig att detta kraftigt minskar framkomligheten på motorvägen. Även efter det att kön har försvunnit på påfarten tar det tid innan situationen på motorvägen hinner återhämta sig, varför man verkligen måste tycka det är viktigt att undvika kö på lokalvägnätet för att det ska vara befogat att stänga av signalen. Om slinga 1 indikerar kö bör man därför först testa att sänka tiden för m och inte stänga av signalen förrän slinga 1 fortfarande efter några minuter indikerar stillastående fordon.

3.5 Kriterier för införande av påfartsreglering

En plats där påfartsreglering ska användas måste uppfylla vissa kriterier. Vilka kriterier som krävs kan variera från plats till plats, men ungefär dessa bör uppfyllas:

1. Trängselproblem ska finnas på motorvägen i höjd med påfarten. I vissa fall kan man tänka sig att trängselproblemen bara finns en bit nedströms påfarten och att påfartsregleringen används för att begränsa det totala flödet på motorvägen.
2. Trafiken som kommer på påfarten ska negativt påverka situationen på motorvägen. Detta innebär att trafikmängden på påfarten måste vara relativt hög.
3. Påfartsrampen ska vara tillräckligt lång för att både få plats med köande fordon och samtidigt vara tillräckligt lång för att fordonen ska hinna accelerera innan de ska väva in på motorvägen. Om rampen inte är tillräckligt lång kan man tänka sig att lokalvägnätet närmast påfarten byggs ut med extra körfält så att kön kan finnas på angränsande gator utan att övrig trafik störs. Man kan också tänka sig att bredda rampen till två körfält före signalen för att få plats med fler köande fordon. Eftersom trafiken på motorvägen oftast flyter

långsammare under rusningstid är det inte nödvändigt att fordonen på påfarten hinner accelerera till friflödes hastighet. Då friflöde råder ska signalen ändå inte vara påslagen.

4. Trafikmängden på påfarten får inte vara alltför hög. Om påfarten har ett körfält får trafiken inte vara högre än 900 fordon/timma. Om trafiken är högre måste man bredda antal körfält före signalen, alternativt fundera på annan lösning såsom breddning till fler körfält nedströms påfarten. Om man har flera körfält före signalen kan man släppa ut fordonen snabbare och kan därmed få ut ett högre flöde, men givetvis minskas nyttan av påfartsregleringen om ett alltför högt flöde släpps ut. Ett alternativ kan också vara att tillåta flera fordon att passera signalen per grönperiod, men detta är mer komplicerat för förarna och minskar dessutom nyttan av påfartsregleringen genom att flera fordon ska väva ut samtidigt på motorvägen.

3.6 Korrigerig för tidsökning för tunga fordon

Innan man installerar en påfartsreglering måste man givetvis ta reda på vilken trafikmängd som nyttjar påfarten. När man vet vilket maxflöde som inträffar kan man räkna om detta till hur ofta man måste släppa ut fordonen under den mest belastade tidsperioden, exempelvis under maxkvarten. I de flesta fall vill man förlänga tiden mellan grönperioderna när ett tungt fordon passerar signalen. Om signaltiden är densamma finns risk att fordonet som släpps ut efter det tunga fordonet hinner ikapp det tunga fordonet innan detta har kommit ut på motorvägen. Tidsförlängningen behöver bara göras i de fall då det är ett lätt fordon som kommer bakom ett tungt fordon. Om ett annat tungt fordon kommer bakom behöver tiden inte förlängas.

Denna tidsförlängning gör att normaltiden blir något kortare än vad den skulle varit om man aldrig behövde öka tiden. Följande formel beräknar tiden med hänsyn till detta:

$$(1 - h) \cdot t + k \cdot f \cdot h \cdot t = t_0 \Leftrightarrow t = \frac{t_0}{h(k \cdot f - 1) + 1} \quad (3.2)$$

där

t är tiden mellan grönperioderna med hänsyn till ökning av tiden för tunga fordon [sek]

t_0 är tiden mellan grönperioderna utan hänsyn till ökning av tiden för tunga fordon [sek]

h är andelen tunga fordon [-]

k är en faktor som anger hur många gånger längre tid som önskas mellan grönperioderna [-]

f är en faktor som anger hur stor andel av fallen som den tunga trafiken ska få längre tid [-]

Om flödet under maxkvarten exempelvis är 600 fordon/timma så motsvarar detta att man måste släppa ut ett fordon var 6:e sekund. Vi tänker oss att andelen tunga fordon är 7 %. Med hänsyn tagen till hur påfarten ser ut tänker vi oss att vi vill att tiden mellan grönperioderna ska förlängas med 80 % i de fall ett lätt fordon efterföljer ett tungt fordon. Faktorn blir då 1,8. Vi tänker oss att mätningar har visat att tunga fordon i 40 % av fallen kommer direkt efter ett annat tungt fordon. Detta innebär att det bara är i 60 % av fallen som tiden måste förlängas. Den nya tiden blir i detta fall:

$$t = \frac{6}{0,07(1,8 \cdot 0,6 - 1) + 1} = 5,97 \text{ sekunder} \quad (3.3)$$

Det är alltså en mycket marginell minskning av tiden som måste göras när hänsyn tas till de tunga fordonen i detta fall.

Om vi tänker oss att påfarten går i uppförslut kanske vi vill tredubbla tiden för de tunga fordonen. Då blir den nya tiden:

$$t = \frac{6}{0,07(3 \cdot 0,6 - 1) + 1} = 5,68 \text{ sekunder} \quad (3.4)$$

3.7 Tillämpningar i Göteborg

I dagsläget används inte påfartsreglering någonstans i Göteborgsområdet. I Sverige är det bara på ett fåtal platser i Stockholm som det används. Figur 3.4 visar exempel på påfartsreglering i Stockholm. Frågan man ställer sig är om det finns någon eller några platser i Göteborg där påfartsreglering kan användas för att förbättra situationen.



Figur 3.4 Påfartsreglering i Stockholm. (Davidsson)

3.7.1 Götatunneln

Redan nu är trafiksignaler för påfartsreglering uppsatta på två påfarter till E45, dels på den östgående påfarten vid Lilla Bommen och dels den västgående påfarten vid Järntorget. Ingen av platserna uppvisar idag något behov av påfartsreglering. Vid Järntorget är det aldrig trängsel på E45 i västgående riktning och vid Lilla Bommen fortsätter påfartsfälten som egna körfält österut, dvs. trafiken behöver inte väva in på körfälten som kommer från Götatunneln. Dessutom är trafiksignalerna i bägge fallen placerade precis i början av påfartsramperna, vilket gör att köerna direkt skulle växa ut på angränsande lokalvägnät om signalerna skulle börja användas. Signalerna kanske installerades som ett extra skydd för att vid behov kunna strypa tillflödet på påfarterna för att lättare få ut trafiken ut tunneln.

Även om påfartsrampen vid Lilla Bommen fortsätter som egna körfält österut skulle förvisso en påfartsreglering minska köerna för trafiken som kommer från Götatunneln. Till följd av kapacitetsproblem vid Gullbergsmotet uppstår stundtals köer ända in i Götatunneln. Om trafikpåsläppet från påfarten hade strypts skulle färre fordon behöva dela på utrymmet på sträckan bort mot Gullbergsmotet och då skulle förmodligen köerna inte växa ända in i tunneln. I detta fall skulle påfartsregleringen användas i annat syfte än normalt. Normalt används påfartsreglering för att få ett jämnare utflöde från påfarten för att underlätta vävningen, men i detta fall skulle man i stället använda påfartsregleringen för att minska flödet från påfarten. Visserligen skulle köerna minska i Götatunneln, men å andra sidan skulle det bli stora problem på

lokalvägnätet vid Nils Ericsonterminalen. Redan nu råder problem i dessa områden i rusningstrafik och en situation med en påfartsreglering skulle skapa fullständigt kaos med helt stillastående trafik. Förutom att trafiken som färdas i riktning mot Gullbergsmotet får längre restid skulle det också påverka trafiken i andra riktningar, exempelvis trafiken som ska vidare in i Götatunneln, trafiken som svänger av E45 på avfartsramperna och trafiken som ska vidare mot Götaälvbron. Ser man på helheten skulle därför en påfartsreglering skapa mer problem än nytta. Om man vill begränsa påfarten för att lättare få ut trafik från Götatunneln i händelse av olycka bör det vara ännu bättre att stänga påfarten helt.

3.7.2 Lindomemotet

Under morgonrusningen skapar den norrgående påfarten problem för trafiken ute på motorvägen. Påfartens negativa inverkan syns tydligt då trafiken söder om trafikplatsen flyter väldigt långsamt, medan hastigheten avsevärt går upp efter påfarten. Problemet med extrem långsam trafik inträffar inte alla dagar, men de dagar som det väl inträffar växer köerna långt bak, upp till cirka en halvmil före trafikplatsen. Problemet startar cirka 07:25 och finns kvar i cirka en timma. Figur 3.5 visar exempel på hur situationen kan se ut en vardagsmorgon på E6 norrgående. Det är inte ovanligt att fordonen på påfarten kommer stötvis, dvs. att flera bilar kommer samtidigt, sedan kommer ingen, sedan kommer en våg. Detta gör det ännu mer besvärligare för trafiken att komma ut eftersom det är ännu svårare att hitta en lucka.



Figur 3.5 Lindomemotet vid den norrgående påfarten.

Att påfarten bidrar negativt till hur trafik flyter på motorvägen råder det inget tvivel på. Detta märks inte minst med tanke på att trafiken flyter mycket långsammare före påfarten än efter. Det är också tydligt att trafiken på påfarten är relativt hög. Trafikräkning har visat att påfarten i genomsnitt under maxtimmen ligger på ca 780 fordon/timma. Detta gör att kravet uppfylls om att trafikmängden inte får överskrida 900 fordon/timma. Om tillfälligheter gör att detta överskrids under ett fåtal minuter är det ingen fara eftersom en kort kö i sådana fall bara hinner byggas upp.

Påfarten bedöms också vara tillräckligt lång för att både rymma accelerationssträcka framför signalen och plats för kö bakom signalen. Signalen kan placeras relativt långt fram tack vare att påfarten går i nedförslut samt att andelen tung trafik är väldigt låg, cirka 2 %. Således är alla kriterier uppfyllda och påfartsreglering skulle därför vara ett alternativ i detta fall. Även om kriterierna är uppfyllda så kan det givetvis finnas skäl som kan tala emot. En sak som måste utredas är om man kan tycka det är acceptabelt att trafiken som trafikerar påfarten får vänta lite längre. I detta fall kan det givetvis uppkomma en något förlängd restid för påfartstrafikanterna, men jämfört med de vinster man gör för trafikanterna på motorvägen så skulle en påfartsreglering absolut vara lönsam ur den aspekten.

Vad man också måste beakta är om det finns risk för att trafikanter väljer andra vägar för att undvika påfarten. Den mesta av trafiken som använder påfarten kommer från Lindome. Ett alternativ om man ska färdas norrut är att man kör gamla E6 norrut till Kålleredsmotet och använder den påfarten i stället. En potentiell trafikökning vid Kålleredsmotet skulle resultera i längre köer vid trafiksignalen i korsningen vid Kålleredsmotet. Eftersom detta ändå bara skulle drabba trafiken från Lindomehållet så spelar det inte så stor roll, en jämvikt kommer att ställa in sig mellan Lindomemotet och Kålleredsmotet där folk väljer den snabbaste vägen. En potentiell trafikökning på gamla E6 genom Lindome förväntas heller inte ställa till med några problem.

I nuläget är trafikmängden på påfarten i Lindomemotet 780 fordon/timma under högtrafik. Även om detta är avsevärt under gränsen 900 fordon/timma ligger siffran ändå lite onödigt högt. För att få ut 780 fordon/timma måste man ha ganska täta grönerioder. Om trafikmängden i Lindomemotet minskar och i stället ökar i Kålleredsmotet så vore det bra. Vid Kålleredsmotet fortsätter nämligen påfarten norrut som ett eget köfält på motorvägen.

Sammantaget gör detta att Lindomemotet är lämpligt att använda för påfartsreglering. Enda problemet som kan uppstå är man inte hinner få ut fordonen i samma takt som de tillkommer och att köerna därför kommer öka successivt. Ett utsläpp på 780 fordon/timma motsvarar ett fordon var 4,62:e sekund, men denna tid måste korrigeras med hänsyn till tidsförlängningen för de tunga fordonen. Eftersom påfarten går i nedförslut bedöms det vara rimligt att tiden förlängs till det dubbla. Eftersom andelen tunga fordon är så pass låg bedöms alla tunga fordon komma ensamma, dvs. tiden ska förlängas i 100 % av fallen. Formeln blir

$$t = \frac{4,62}{0,02(2 \cdot 1 - 1) + 1} = 4,53 \text{ sekunder} \quad (2.7)$$

För påfartsreglering med utsläpp från ett körfält brukar man prata om att maxgränsen ligger på 900 fordon/timma. Detta motsvarar ett fordon var fjärde sekund. Eftersom man ligger över 4 sekunder bör inga problem uppstå, men precis i början när påfartsregleringen är nyinstallerad kan det bli problem genom att förare ännu inte har lärt sig körbeteendet. Det gäller ju att vara relativt snabb med att köra iväg när signalen slår om till grönt. En van förare lär sig rytmen och vet när han ska köra. Genom att han ser hur ofta fordonen kör iväg framför honom så vet han när det är hans egen tur. Problemet med att man inte hinner få ut fordonen bör alltså möjligen bara uppstå precis i början. Eftersom det mest rör sig om arbetspendlare som trafikerar påfarten kan man anta att det är samma förare som kör varje dag. Därför kommer majoriteten av förarna relativt snabbt att lära sig körbeteendet.

Efter man redan i dagsläget har en relativt hög trafikmängd på påfarten måste man göra en prognos framåt. Om trafikmängden exempelvis förväntas öka kraftigt är det lämpligt att redan nu planera för det. En kraftig trafikökning som gör att trafikmängden överskrider 900 fordon/timma kan göra att man av den anledningen väljer att strunta i påfartsregleringen och istället vidtar en annan åtgärd, exempelvis att bygga ut ett extra körfält på motorvägen nedströms påfarten. Om man ändå vill ha påfartsreglering bör man redan nu bredda påfarten till två körfält.

I Lindomemotets fall bedöms dock inte trafikmängden öka. Dels kommer påfartsregleringen i sig självt att minska trafikmängden något, fler kommer välja Källeredsmotet. Dessutom kommer införandet av trängselskatt år 2013 att bidra till att fler väljer kollektiva färd sätt framför bilen. Det kan därför vara rimligt att anta att trafikmängden på påfarten komma vara relativt oförändrad, vilket innebär att påfartsreglering med ett körfält bör fungera.

Sammantaget bedöms därför påfartsreglering vara ett bra alternativ att använda i trafikplatsen.

3.7.3 Klarebergsmotet

Under eftermiddagsrusningen finns problem på E6 i norrgående riktning ända upp till Kungälv. Trafiken går med reducerad hastighet ända upp till Jordfallsmotet, men allra långsammast flyter trafiken vid Klarebergsmotet till följd av trafiken som kommer på påfarten. Köer uppstår på motorvägen från i höjd med påfarten och en bra bit söderut. Även om trafikproblemen finns kvar även norr om påfarten så ökar hastigheten markant, varför påfartens negativa effekt syns tydligt. Problemen är som värst från ca kl. 16 och en timma framåt. En trafikräkning som pågick från 14:30 – 17:00 visade att trafikmängden på påfarten var 440 fordon/timma. Under maxkvarten 16:05 – 16:20 uppgick trafikströmmen till 750 fordon/timma. En trafikmängd på 750 fordon/timma är en hög trafikmängd, men den ligger ändå under gränsen för vad som är acceptabelt

för ett körfält. Figur 3.6 visar exempel på situationen vid den norrgående påfarten en vardagseftermiddag.



Figur 3.6 Klarebergsmotet vid den norrgående påfarten

En av anledningarna till att påfarten skapar problem för trafiken ute på motorvägen är att trafiken kommer väldigt stötvis på påfarten. Upp till ca 12 fordon kan komma tillsammans, sedan ingen alls, sedan en ny samling fordon. En stor andel av trafiken som nyttjar påfarten kommer från Norrleden. På Norrleden finns flertalet trafiksignaler, vilket gör att trafiken samlas ihop på detta vis. Därför skulle en påfartsreglering i detta fall verkligen komma till nytta. Det generella målet bör vara att man ska få ut alla fordon från en stöt innan nästa stöt av fordon kommer. I annat fall kommer köerna successivt att byggas på.

Påfarten i Klarebergsmotet är väldigt lång, så det är ingen risk att sträckan inte ska räckas till för både accelerationssträcka och kösträcka. Eftersom påfarten går i svagt uppförslut fram mot motorvägen får man se till att accelerationssträckan hålls tillräckligt lång. Tiden före nästa grönperiod måste också avsevärt förlängas när ett tungt fordon kör ut på motorvägen. Annars finns det risk för att bilar hinner köra ikapp det tunga fordonet och då har man delvis tappat poängen med påfartsregleringen. Även om påfartssträckan är lång bör man undvika att placera signalen längre bak än absolut nödvändigt. En onödigt lång accelerationssträcka

innebär dels att tiden mellan grönperioderna måste göras ännu längre efter ett tungt fordon och dessutom ökar risken att bilar kör ikapp varandra. Eftersom trafiken i rusningstrafik flyter långsammare än friflödes hastighet är det inte nödvändigt att accelerationssträckan är så lång att man hinner accelerera till friflödes hastighet. När friflödes hastighet råder ska signalen ändå inte vara påslagen.

Precis som i Lindomemotets fall ligger flödet relativt högt. Under maxkvarten måste man släppa ut ett fordon i genomsnitt var 4,8:e sekund. Mätningar har visat att den tunga trafiken utgör ungefär 5 % av trafiken. För att kunna använda formeln för ökning av tiden för tunga fordon uppskattas att det är lämpligt att tiden mellan grönperioderna ska öka med 250 % samt att ökningen behöver göras i 60 % av fallen (eftersom de tunga fordonen relativt ofta kommer efter varandra). Formeln blir

$$t = \frac{4,8}{0,05(3,5 \cdot 0,6 - 1) + 1} = 4,55 \text{ sekunder} \quad (2.8)$$

Under maxkvarten behöver man alltså släppa ut ett fordon var 4,55:e sekund. Detta är relativt ofta och kan eventuellt ställa till problem i början innan trafikanterna har lärt sig rytmen vid signalen. När trafikanterna har blivit vana vet trafikanten när det är dags att köra genom att man studerar ungefär hur ofta framförvarande fordon kör ut. Då är föraren beredd att köra direkt när signalen slår om till grönt. Därför bedöms inte den relativt korta tiden utgöra något problem, åtminstone inte när beteendet är inlärt hos förarna.

Förhoppningen är att väntetiden vid signalen inte ska bli särskilt lång. Finns det någon risk att folk väljer andra vägar för att undvika signalen? En stor del av trafiken som kommer på påfarten har kört på Hisingsleden / Norrleden nerifrån Torslandahället. Kanske kommer några att köra Lundbyleden / E6 i stället. Kanske kommer några att köra Kongahällavägen från Säve och vidare mot Rödbomotet. Kanske kommer några välja att svänga av Norrleden precis före Klarebergsmotet och i stället välja att köra Ellesbovägen (gamla Riksväg 2) norrut till Kungälv. Det är i huvudsak dessa tre alternativa vägar man kan tänka sig att bilisterna kommer välja om de vill undvika signalen. Under förutsättning att väntetiden hålls kort förväntas dock inte någon betydande överflyttning att ske. En smärre ökning på övriga vägar bedöms heller inte utgöra något problem.

Eftersom trafikmängden redan nu är relativt hög på påfarten måste man göra en prognos för hur den ska utvecklas. Om trafikmängden överskrider 900 fordon/timme måste man ha två körfält före signalen för att få ut trafiken. Om trafikmängden ökar kraftigt är det förmodligen bättre att bygga ett tredje körfält norrut mellan Klarebergsmotet och Jordfallsmotet och låta påfarten fortsätta som ett eget körfält. Redan nu är utnyttjandegraden väldigt hög på sträckan, varför hastigheten redan nu sjunker i rusningstrafik.

Mellan Klarebergsmotet och Bräckemotet finns idag två vägar som tar ungefär lika lång tid att åka. Dels Hisingsleden och dels Lundbyleden. Även om Lundbyleden håller en generellt högre standard vill man att fler ska välja Hisingsleden för att avlasta de mer centrala delarna. För att göra Hisingsleden mer attraktiv finns långsiktiga planer på att bygga om vägen från dagens tvåfältiga landsväg med signalreglerade korsningar till motorväg. Dessutom kommer Halvors länk att byggas, en ny väg mellan Hisingsleden och Öckeröleden sydost om Volvos anläggningar. Bägge dessa åtgärder kommer göra Hisingsleden mer attraktiv jämfört med Lundbyleden och detta bidrar i sin tur till att trafikmängden på påfarten i Klarebergsmotet kommer öka. Ingen av ovan nämnda åtgärder kommer genomföras de närmaste åren, varför trafikökningen inte kommer ske än på några år. Om påfartsreglering ska installeras kommer detta i så fall bara vara en tillfällig åtgärd på några år eftersom påfartsregleringen inte kommer fungera om trafiken ökar kraftigt från dagens nivå.

Detta gör att det inte är lika självklart som i Lindomemotets fall om påfartsreglering är en bra lösning. En installation av påfartsreglering skulle förmodligen förbättra situationen genom att köerna på E6 skulle minska, men en installation skulle ändå bidra till en något ökad restid om man kommer från Hisingsleden. Detta skulle göra att Hisingsledens attraktivitet skulle minska något, dvs. tvärtom mot vad man egentligen vill. Detta är ytterligare ett skäl till att en påfartsreglering bara skulle vara en tillfällig åtgärd.

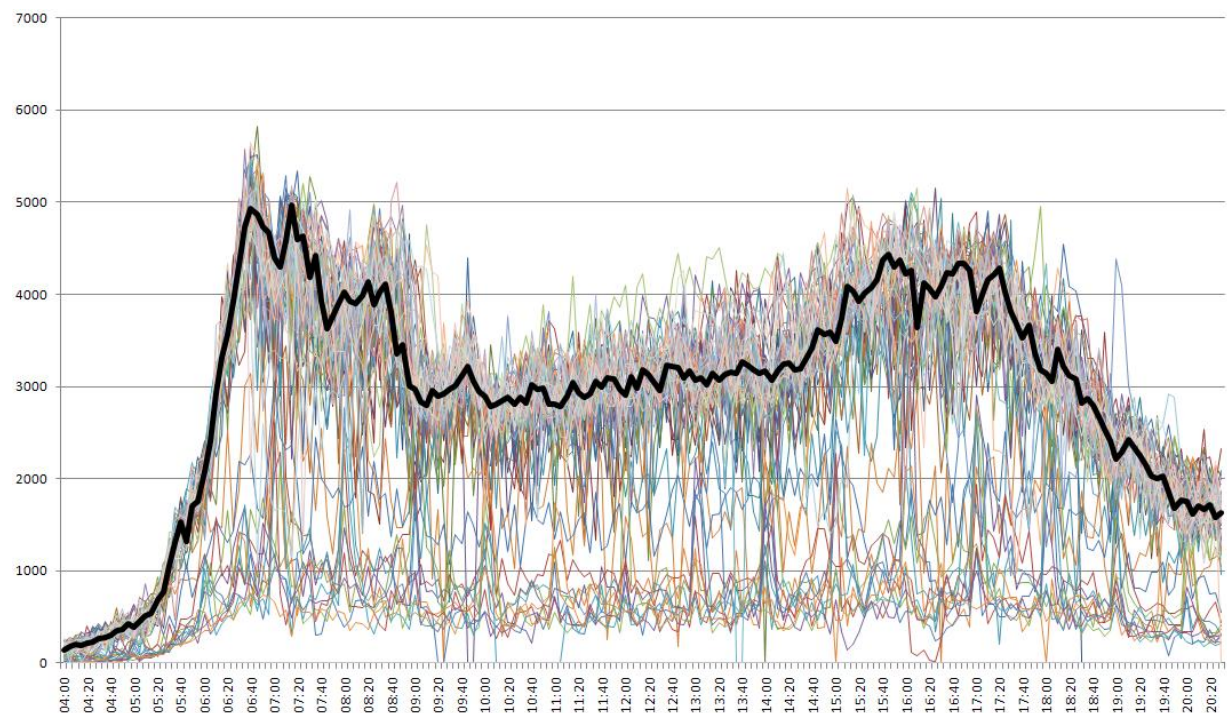
Sammantaget kan man därför säga att påfartsreglering inte är en långsiktig lösning att använda i trafikplatsen, men kan vara en bra lösning på kort sikt innan åtgärder på Hisingsleden gör att trafikmängden på påfarten kraftigt ökar.

4 Resultat

Syftet med arbetet är att utveckla bättre beräkningsmodeller för sammanvägning av mätdata för skapande av flödes- och hastighetsdiagram, samt öka kunskapen om påfartsreglering och utreda om det finns platser i Göteborgsområdet där en sådan kan vara lämplig. Beräkningsmodeller har utvecklats. Kunskapen om påfartsreglering har ökats samt utretts var detta kan vara lämpligt i Göteborgsområdet.

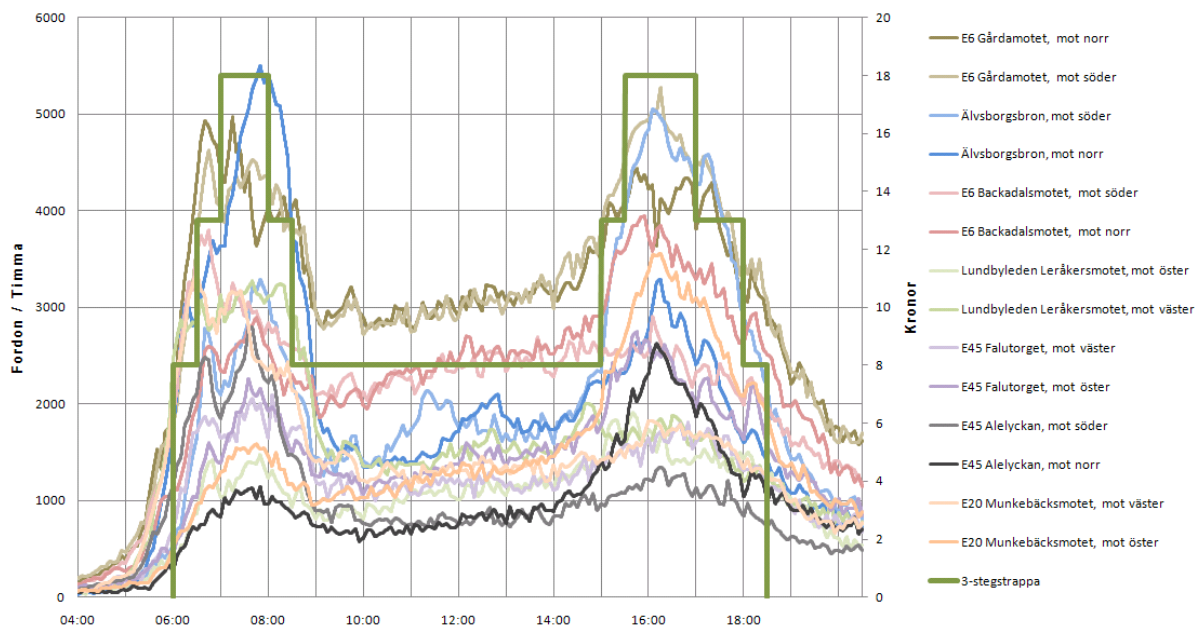
4.1 Beräkningsmodeller

Många olika beräkningsmodeller togs fram och testades. Efter många tester visade det sig att den så kallade Stockholmsmodellen fungerade bäst. Figur 4.1 visar hur Stockholmsmodellen mycket bra anpassar sig till de faktiska kurvorna från mätperioden.



Figur 4.1 Alla dagars flöden tillsammans med den framräknade svarta linjen beräknad med Stockholmsmodellen. Flödet är angivet i fordon/timma.

De sammanvägda flödena beräknade med Stockholmsmodellen användes för att bestämma vid vilka tidpunkter de olika skattenivåerna ska gälla för trängselskatten i Göteborg. Figur 4.2 illustrerar sambandet mellan de sammanvägda flödeskurvorna från olika flera mätplatser i Göteborg och förslaget på de olika skattenivåerna.



Figur 4.2 Flödet från några mätplatser tillsammans med förslaget på tre skattenivåer. Flödeskurvorna är beräknade med Stockholmsmodellen. Detta diagram redovisades i rapporten om trängselskatt som Vägverket publicerade i februari 2010.

4.2 Påfartsreglering

En allmän genomgång om vad påfartsreglering är för något finns med i arbetet. Detta ökade den allmänna kunskapen om påfartsreglering. Förutom att undersöka befintliga metoder för hur påfartsreglering kan utformas togs också ett eget förslag fram på slingors placering och förslag på algoritm. Även en formel där hänsyn tas till tidsförlängning för tunga fordon mellan grönperioderna togs fram. Se avsnitt 3.4 för förslaget på slingornas placering och tillhörande algoritm. Se avsnitt 3.6 för formeln som tar hänsyn till tidsförlängningen för tunga fordon.

En utredning gjordes också för att se vilka platser i Göteborgsområdet som kan vara intressanta för påfartsreglering. Vid Götatunneln på E45 är signaler för påfartsreglering redan uppsatta, dels på den västgående påfarten vid Järntorget och dels på den östgående påfarten vid Lilla Bommen. I dagsläget är ingen av dessa signaler i bruk. Efter en analys av situationen vid de respektive platserna kan något behov heller inte ses. I västgående riktning vid Järntorget uppstår aldrig kö. I östgående riktning vid Lilla Bommen uppstår kö till följd av kapacitetsproblem vid Gullbergsmotet, men eftersom påfarten vid Lilla Bommen fortsätter som egna körfält österut på E45 finns inget syfte med regleringen för att underlätta vävning. Påfartsregleringen skulle kunna användas för att dämpa trafiken från lokalvägarna och därmed minska den totala trafikbelastningen på E45 öster om Lilla Bommen, men detta skulle ställa till med mer problem på lokalvägnätet än vad det skulle gynna trafikanterna som kommer från Götatunneln. Dessutom skulle trafikproblemen som skulle uppstå på lokalvägnätet också drabba trafikanter som färdas i andra riktningar än mot Gullbergsmotet, exempelvis trafik som ska mot Götatunneln och trafik som ska mot Götaälvbron.

Två andra platser studerades också, dels Lindomemotets norrgående påfart och dels Klarebergsmotets norrgående påfart. Det var känt att bägge dessa påfarter har en negativ inverkan på trafikrytmen ute på motorvägen. Många av kriterierna för när påfartsreglering är lämplig att använda uppfylldes för bägge platserna, men eftersom trafiken på påfarten i Klarebergsmotet om några år kraftigt förväntas öka är det ingen långsiktig lösning att installera påfartsreglering. När trafikmängden har ökat till de framtida förväntade nivåerna klarar påfartsregleringen inte av att portionera ut trafiken tillräckligt fort. I stället måste annan åtgärd vidtas, exempelvis att bredda E6 i norrgående riktning mellan Klarebergsmotet och Jordfallsmotet till tre körfält. I Lindomemotet uppfylldes samtliga kriterier och en påfartsreglering skulle därför med stor sannolikhet få positiva effekter, främst genom att restiderna på E6/E20 mellan Kungsbacka och Källered skulle minska.

5 Diskussion

5.1 Beräkningsmodeller

Beräkningsmodellerna som togs fram är till stor del anpassade efter de uttag som gjorts från Vägverket Region Västs trafikdatabas. Även för mätfel och andra särdrag är modellerna anpassade för. När försök gjordes att efterlikna den modell som användes i Stockholms misslyckades detta till viss del eftersom modellen genererade helt felaktiga värden. Detta berodde troligen på att mätdatan från Göteborg innehöll fler mätfel än vad den gjorde i Stockholm och därför fick förses med fler filter som tog bort felaktig data. Med anledning av detta kan man inte säga att modellerna går att använda generellt i världen. Dock kan modellernas olika beståndsdelar användas generellt, men att man får anpassa dem efter de lokala förhållanden som gäller på den specifika platsen.

När diagrammen togs fram för trängselskatteprojektet var det givetvis väldigt viktigt att kontrollera känsligheten hos analysen. Om en liten förändring hade gjort att utfallet hade blivit helt annorlunda så skulle modellen knappast gå att använda som underlag för vilka skattenivåer som ska gälla. Därför testades även andra mätperioder än hösten 2007, många olika mätplatser och även andra modeller än Stockholmsmodellen, exempelvis den också framtagna modellen för percentilnivåer, där 80-percentilen. Resultatet av detta visade att resultatet blev i princip samma oavsett modell, mätplats och mätperiod.

5.2 Påfartsreglering

Förslagen på slingornas placering och lämpliga algoritmer för dessa bör gälla generellt. Genom att de generella algoritmerna tillåter att olika konstanter används kan algoritmerna anpassas till de lokala förhållanden som gäller. När kunskap inhämtades om påfartsreglering besöktes många webbsidor som beskrev situationen på många håll runt om i världen. Den samlade bilden var att uppbyggnaden och förutsättningarna för påfartsreglering ser ungefär likadana ut oavsett var man befinner sig i världen.

Analysen av lämpliga platser i Göteborgsområdet gjordes med hjälp av uppsatta kriterier för när påfartsreglering är lämplig att använda. Dessa kriterier är inhämtade från många olika webbsidor från påfartsregleringar runt om i världen. Därför bör kriterierna som användes för bedömning av lämpliga platser vara generell. När det gäller den slutgiltiga bedömningen av vilka platser bland de undersökta som är lämpliga så kan olika utgångslägen ge olika resultat. Eftersom både Klarebergsmotet och Lindomemotet på de flesta punkter uppfyller kriterierna kan enskilda bedömningar ge olika utfall.

I samband med mitt arbete på Trafikverket har diskussioner förts om ifall påfartsreglering kan installeras på någon av dessa platser. När det framgick att det på lång sikt inte var lämpligt vid Klarebergsmotet riktades insatserna mot Lindomemotet. I första halvan av juni 2010 är två mätslingor installerade på E6/E20 i höjd med Lindomemotet, med syfte att få ett bättre underlag för flöden och hastigheter. Om

resultatet av mätningarna faller väl ut kommer utredning att fortsätta, som inom en relativt snar framtid kan resultera i att påfartsreglering blir verklighet på den norrgående påfarten.

6 Slutsatser

Förmodligen har inga beräkningsmodeller tidigare tagits fram som på exakt detta sätt är anpassade till de lokala förhållanden som gäller för Vägverket Region Västs trafikdatabas. När behov av beräkningsmodell fanns i och med trängselskatten togs flera sådana fram, som resulterade i att Stockholmsmodellen användes för bedömning av lämpliga skattenivåer.

Förslagen på placering av slingor och utformning av algoritm för påfartsreglering är knappast något unikt. De förslag på slingor och algoritm liknar till viss del andra algoritmer som används på andra platser och likadant för slingornas placering. Däremot har arbetet med att kartlägga lämpliga platser i Göteborgsområdet givit mervärde. Tack vare arbetet har Trafikverket satt igång vidare utredning om Lindomemotets norrgående påfart, där man i ett första steg har satsat pengar på att låta en entreprenör göra vidare mätningar runt Lindomemotet.

7 Källförteckning

Auckland Motorways (Elektronisk) Tillgänglig:

<http://www.aucklandmotorways.co.nz/rampsignalling/rampsignalling.html> (2010-04-03)

California State (2000) *Ramp Meter Design Manual* (Elektronisk) Tillgänglig:

http://www.dot.ca.gov/hq/traffops/systemops/ramp_meter/RMDM.pdf (2010-04-03)

KTH *Ramp Metering* (Elektronisk) Tillgänglig:

http://www.infra.kth.se/ToL/trafik/utbildningtraf/utbildningsmaterial/haris/ramp%20metering_handout.pdf (2010-04-03)

Chu, Yang (2003) *Optimization of the ALINEA Ramp-metering Control Using*

Genetic Algorithm with Micro-simulation (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.clr-analytics.com/Files/AlineaOptimization.pdf> (2010-04-03)

Davidsson *Ramp metering on Essingeleden during Congestion charging* (Elektronisk)

Tillgänglig: [http://www.movea.se/Sigk4/5-](http://www.movea.se/Sigk4/5-4%20Fredrik%20Davidsson,%20P%C3%A5fartsreglering%20i%20Stockholm.pdf)

[4%20Fredrik%20Davidsson,%20P%C3%A5fartsreglering%20i%20Stockholm.pdf](http://www.movea.se/Sigk4/5-4%20Fredrik%20Davidsson,%20P%C3%A5fartsreglering%20i%20Stockholm.pdf) (2010-04-03)

Bilaga 1 Stockholmsmodellens algoritm

När beräkningsmodellerna togs fram skapades många algoritmer och därmed många källkoder. Samtliga källkoder skrevs i Visual Basic som sedan kördes som makron i MS Excel, direkt i de filer som Vägverket Region Västs databas genererade när man valde att plocka ut flöden och hastigheter med upplösning var femte minut för 15 veckor hösten 2007. Den algoritm som utsågs till den bästa för flöde/tid-diagrammen var Stockholmsmodellen, där data presenteras mellan 04:00 – 20:30. Det var denna algoritm som användes när flödena beräknades för de diagram som Vägverket publicerade i februari 2010 om trängselskatten. Källkoden till algoritmen följer nedan:

```
antal = 15
antal = antal * 7
Range("G4").Select
ActiveSheet.Shapes.AddChart.Select
ActiveChart.ChartType = xlLine
y = 1
d = 1
For x = 1 To antal
If y < 6 Then
Namn = "Flöde " & d
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(d).Name = Namn
Namn = "Data!$D$" & (50 + (x - 1) * 288) & ":$D$" & (248 + (x - 1) * 288)
ActiveChart.SeriesCollection(d).Values = Namn
Dim m(1000,199) as Double
For z = 1 To 199
Namn = "$D$" & (50 + (x - 1) * 288 + z - 1)
m(d,z) = ActiveSheet.Range(Namn).Value
Next z
ActiveChart.SeriesCollection(d).Format.Line.Weight = 1
y = y + 1
d = d + 1
Else
If y > 6 Then
y = 1
Else
y = y + 1
End If
End If
Next x
For z = 1 To 199
m2 = 0
For z2 = 1 To d - 1
m2 = m2 + m(z2,z)
Namn = "$O$" & z2
ActiveSheet.Range(Namn).Value = m(z2,z)
Next z2
Namn = "O1:O" & (d - 1)
Range(Namn).Select
Activsheet.Sort.SortFields.Clear
```

```

Activesheet.Sort.SortFields.Add Key:=Range("O1"), _
SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
With Activesheet.Sort
.SetRange Range(Namn)
.Header = xlNo
.MatchCase = False
.Orientation = xlTopToBottom
.SortMethod = xlPinYin
.Apply
End With
Dim medel as Double
Dim sd as Double
Dim undre as Double
Dim ovre as Double
Dim avstand_undre as Double
Dim avstand_ovre as Double
lagsta = 1
hogsta = d - 1
utanfor = 1
While utanfor = 1
nollor = 1
While nollor = 1
Namn = "O" & lagsta
If ActiveSheet.Range(Namn).Value = 0 Then
lagsta = lagsta + 1
Else
nollor = 0
End If
Wend
Namn = "I1"
Range(Namn).Select
Namn = "=Average(R[" & lagsta - 1 & "]C[6]:R[" & hogsta - 1 & "]C[6])"
ActiveCell.FormulaR1C1 = Namn
medel = ActiveCell.Value
sd = 2^(1/2) * medel^(1/2)
undre = medel - 2.807 * sd
ovre = medel + 2.807 * sd
utanfor = 0
Namn = "O" & lagsta
avstand_undre = undre - ActiveSheet.Range(Namn).Value
Namn = "O" & hogsta
avstand_ovre = ActiveSheet.Range(Namn).Value - ovre
If avstand_undre > avstand_ovre Then
If avstand_undre > 0 Then
lagsta = lagsta + 1
utanfor = 1
End If
Else
If avstand_ovre > 0 Then
hogsta = hogsta - 1
utanfor = 1
End If
End If
Wend

```

```

Namn = "$Q$" & z
ActiveSheet.Range(Namn).Value = medel
Next z
ActiveSheet.ChartObjects("Diagram 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(d).Name = "Stockholmsmodellen"
Namn = "Data!$Q$1:$Q$199"
ActiveChart.SeriesCollection(d).Values = Namn
ActiveChart.SeriesCollection(d).Format.Line.Weight = 4
ActiveChart.SeriesCollection(d).Border.Color = RGB(0,0,0)
Range("M5").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "4:00"
Range("M6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "4:05"
Range("M5:M6").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("M5:M203"), Type:=xlFillDefault
Range("M5:M203").Select
ActiveWindow.ScrollRow = 1
ActiveSheet.ChartObjects("Diagram 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "'Data!$M$5:$M$203"
ActiveSheet.ChartObjects("Diagram 1").Activate
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Delete
ActiveWindow.ScrollRow = 20
ActiveSheet.Shapes.AddChart.Select
ActiveChart.ChartType = xlLine
y = 1
d = 1
For x = 1 To antal
If y < 6 Then
Namn = "Hastighet " & d
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(d).Name = Namn
Namn = "Data!$E$" & (50 + (x - 1) * 288) & ":$E$" & (248 + (x - 1) * 288)
ActiveChart.SeriesCollection(d).Values = Namn
Dim n(1000,199) as Double
For z = 1 To 199
Namn = "$E$" & (50 + (x - 1) * 288 + z - 1)
n(d,z) = ActiveSheet.Range(Namn).Value
Next z
ActiveChart.SeriesCollection(d).Format.Line.Weight = 1
y = y + 1
d = d + 1
Else
If y > 6 Then
y = 1
Else
y = y + 1
End If
End If
Next x
For z = 1 To 199
m2 = 0
For z2 = 1 To d - 1

```

```

m2 = m2 + n(z2,z)
Namn = "$P$" & z2
ActiveSheet.Range(Namn).Value = n(z2,z)
Next z2
Namn = "P1:P" & (d - 1)
Range(Namn).Select
Activesheet.Sort.SortFields.Clear
Activesheet.Sort.SortFields.Add Key:=Range("P1"), _
SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
With Activesheet.Sort
.SetRange Range(Namn)
.Header = xlNo
.MatchCase = False
.Orientation = xlTopToBottom
.SortMethod = xlPinYin
.Apply
End With
lagsta = 1
hogsta = d - 1
utanfor = 1
While utanfor = 1
nollor = 1
While nollor = 1
Namn = "P" & lagsta
If ActiveSheet.Range(Namn).Value = 0 Then
lagsta = lagsta + 1
Else
nollor = 0
End If
Wend
Namn = "J1"
Range(Namn).Select
Namn = "=Average(R[" & lagsta - 1 & "]C[6]:R[" & hogsta - 1 & "]C[6])"
ActiveCell.FormulaR1C1 = Namn
medel = ActiveCell.Value
sd = 2^(1/2) * medel^(1/2)
undre = medel - 2.807 * sd
ovre = medel + 2.807 * sd
utanfor = 0
Namn = "P" & lagsta
avstand_undre = undre - ActiveSheet.Range(Namn).Value
Namn = "P" & hogsta
avstand_ovre = ActiveSheet.Range(Namn).Value - ovre
If avstand_undre > avstand_ovre Then
If avstand_undre > 0 Then
lagsta = lagsta + 1
utanfor = 1
End If
Else
If avstand_ovre > 0 Then
hogsta = hogsta - 1
utanfor = 1
End If
End If

```

```
Wend
Namn = "$$$" & z
ActiveSheet.Range(Namn).Value = medel
Next z
ActiveSheet.ChartObjects("Diagram 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(d).Name = "Stockholmsmodellen"
Namn = "Data!$$$1:$$$199"
ActiveChart.SeriesCollection(d).Values = Namn
ActiveChart.SeriesCollection(d).Format.Line.Weight = 4
ActiveChart.SeriesCollection(d).Border.Color = RGB(0,0,0)
ActiveSheet.ChartObjects("Diagram 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "'Data!$M$5:$M$203"
ActiveSheet.ChartObjects("Diagram 2").Activate
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Delete
End Sub
```