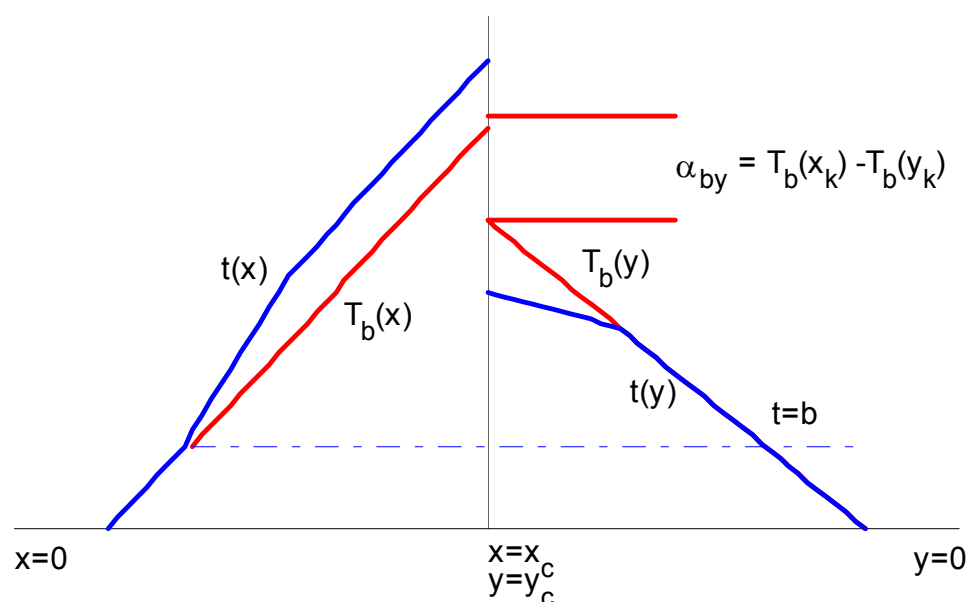


Samband mellan framkomlighet och trafiksäkerhet

En förstudie



Ola Hagrind
2000

Ola Haging Samband mellan framkomlighet och trafiksäkerhet

En förstudie

Ämnesord:

Framkomlighet, säkerhet, konflikter, kritiska tidsavstånd, kritisk tidsfördel, PET

Referat:

Framkomlighet och säkerhet är två av de viktigaste effekterna av vägtrafik. Beräkningen av dessa båda effekter görs med utgångspunkt från skilda teorier. Båda har dock sin utgångspunkt i hur trafikanter interagerar med varandra och med fordonet och vägmiljön. I denna förstudie refereras ett antal studier där samband mellan dessa båda effekter har studerats. Vidare redovisas och diskuteras olika sätt att mäta framkomlighet och säkerhet på mikronivå.

Relations between capacity and safety

Keywords

Capacity, delay, safety, conflicts, gap acceptance, time-advantage, PET

Abstract:

Capacity/delay and safety are two of the most important effects of road traffic. The estimation models for these two effects are based on different theories, although these theories are in turn based on interactions between road users, their vehicles and the environment. In this preliminary study actual research on this topic is reviewed. Different ways of measuring capacity/delay and safety on a micro level is discussed.

Citeringsanvisning

Haging, Ola. Samband mellan framkomlighet och säkerhet – En förstudie. Lund, Institutionen för Teknik och samhälle, Trafikteknik, 2000. Bulletin - Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Lunds Universitet, 192.

Förord

Under min forskarbana har jag hittills inriktat mig på framkomlighetsmodeller på mikronivå för korsningar och då särskilt cirkulationsplatser. På Institutionen för Trafikteknik (nu Teknik och Samhälle) har det samtidigt funnits ett antal andra forskare som också ägnat sig åt interaktionsmodeller men ur ett säkerhetsperspektiv. Periodvis har vi haft ett ganska stort utbyte av teorier och erfarenheter. Detta plus att så mycket av forskningen på institutionen behandlat säkerhetsfrågor och särskilt då säkerhetsmodeller på mikronivå har medfört att jag till och från funderat på sambandet mellan framkomlighet och säkerhet.

Efter min disputation fick jag ett stipendium av avdelningen för trafikteknik att användas för en vidare utforskning av detta spännande område. Det är resultatet av denna utforskning som presenteras i här. Rapporten gör inga som helst anspråk på att vara fullständig eller särskilt djuplodande, utan kan ses som ett försök att närma sig ett nytt eller i vart fall tämligen oetablerat forskningsområde. Rapporten har varit utgångspunkt för en ansökan till Kommunikationsforskningsberedningen.

Jag vill tacka professor Christer Hydén dels för den möjlighet som jag fick att göra detta arbete, dels för värdefulla synpunkter, samt tekn. dr. Åse Svensson för hjälp med bland annat referenser.

Lund december 2000

Ola Hagring

Innehåll

1.	Inledning.....	1
2.	Definitioner av framkomlighet och säkerhet.....	3
3.	Några viktiga individbaserade mått.....	5
3.1	Tids- och sträckavstånd.....	5
3.2	Kritiska tidsavstånd.....	5
3.3	Kritiska tidsfördelar.....	5
3.4	Konflikter.....	6
3.5	PET.....	7
3.6	Manövreringstid.....	8
3.7	Diskussion.....	8
4.	Undersökningar av säkerhet och framkomlighet.....	9
4.1	Empiriska makromodeller.....	9
4.2	Samband mellan flöde och säkerhet.....	9
4.3	Samband mellan framkomlighet och säkerhet.....	9
4.4	Empiriska mikromodeller.....	10
4.5	Analytiska mikromodeller.....	10
4.6	Stokastiska mikromodeller.....	11
4.6.1	Modeller för oreglerade korsningar.....	11
4.6.2	Studier av övriga trafikanläggningar.....	13
4.6.3	Diskussion.....	13
4.7	Sammanfattning.....	14
5.	En ansats för studier på individnivå.....	15
5.1	Inledning.....	15
5.2	Beskrivning av interaktioner.....	16
5.2.1	Vägsträckor.....	16
5.2.2	Korsningar.....	17
5.3	Val av interaktioner.....	17
6.	Sammanfattning.....	19
7.	Referenser.....	21

1. Inledning

Vid utformning av vägtrafikanläggningar, t.ex. en korsning, är det i allmänhet trafiksäkerheten och framkomligheten som är avgörande. Beräkning av trafiksäkerhetseffekter respektive framkomlighet görs med utgångspunkt från helt skilda teorier. Man kan emellertid föreställa sig att det kan finnas samband mellan framkomlighet och säkerhet.

Samband mellan framkomlighet och säkerhet kan beskrivas och definieras på olika sätt. Det är viktigt att klargöra på vilken nivå ett sådant samband ska sökas, vilket beror på syftet med undersökningen. I princip kan man tänka sig att de båda variabelerna beskrivs på antingen mikro- eller makronivå där mikronivån innebär ett beteendebaserat samband som utgår från en beskrivning på individnivå. Framkomlighet är därvid ett vagt begrepp. Fördröjning eller något annat individrelaterat mått är mer användbart. Också för säkerhet måste något tidsbaserat mått som uttrycker risk användas.

Att finna samband på makronivå utgör ingen teoretisk svårighet – det innebär tillämpning av statistiska metoder på makronivå – men ger en del praktiska problem. Ett problem är att finna en lämplig nivå för aggregering av data och då särskilt olycksdata. Om utgångspunkten är att finna ett samband mellan t.ex. medelfördröjning och risk för olycka kan inte aggregeringen drivas hur långt som helst eftersom man då tappar information om fördröjningens variation. Å andra sidan kan man, om man inte driver aggregeringen tillräckligt långt, få för få olyckor i varje grupp.

När det gäller att finna samband på mikronivå är förhållandet delvis det omvända. Någon teori som förklarar sambandet mellan säkerhet och framkomlighet på individnivå teori finns ej idag. När – eller om – en sådan teori finns tillgänglig torde det inte innebära några allvarliga problem att samla in data för att undersöka en sådan teori, förutom att den datamängd som krävs kan bli stor, eftersom det rimligen handlar om att mäta olika tids- eller sträckbaserade interaktionsmått.

I det följande presenteras några olika interaktionsmått. Därefter refereras några olika undersökningar av samband mellan framkomlighet och säkerhet. Slutligen görs en ansats för utveckling av en individbaserad teori för sambandet mellan framkomlighet och säkerhet.

2. Definitioner av framkomlighet och säkerhet

I detta kapitel ska några definitioner av begreppen framkomlighet och säkerhet göras. Framkomlighet är ett vagt begrepp som beskriver hur snabbt man kan ta sig fram i ett gatunät. Ett enkelt framkomlighetsmått är kapacitet.

Kapacitet definieras som det största möjliga flöde som kan passera en punkt (eller ett snitt) i en trafikaneläggning under givna förhållanden. Det sistnämnda innebär homogena och stationära förhållanden, dvs. att inga rums- eller tidsmässiga förändringar sker. Homogenitetsvillkoret kan normalt uppfylla men kan välla problem vid t.ex. korta korsningsavstånd. Stationära förhållanden nås emellertid sällan eftersom trafikflödet ständigt ändras. Normalt hanterar man detta genom att betrakta flödet under en begränsad tidsperiod som stationärt.

Kapacitet är ej ett mått som kan relateras till en individ och således ej användbart för framkomlighetsstudier på mikronivå. Slutligen ger kapacitetsbegreppet ingen information om framkomligheten vid en given situation eftersom det i princip ej inbegriper flödet i den punkt som studeras¹.

Användbara mått på mikronivå måste vara möjliga att relatera till enskilda trafikanter och det är då rimligt att utgå från fördröjning då denna kan mätas på individnivå. Fördröjning är ett enkelt, kontinuerligt och kvantitativt mått som också går att ge en kvalitativ innebörd, t.ex. genom en indelning av fördröjningen i olika klasser. På så sätt fungerar det amerikanska och tyska LOS-begreppet². Sambandet mellan olika tidsbaserade mått och fördröjning utvecklas vidare i nästa kapitel.

En betydligt större svårighet uppträder då det gäller trafiksäkerhetsmått. Trafiksäkerhet kan definieras som "att transporter kan ske utan olyckor och därmed åtföljande skador" (Englund et al. 1998). Då det är förhållandevis ovanligt att olyckor inträffar är det lämpligare att använda en omvänd definition av trafiksäkerhet, baserad på t.ex. risk för olycka. Denna omvända definition blir ibland något motsägelsefull. Bl.a. kan trafikolyckorna i Sverige beskrivas under rubriken "Trafiksäkerhet som samhällsproblem" (Ekman 1996) och definieras som "the objective measure reflected in the prevalence of accidents and their harm" (Hauer 1996).

Problemet med dessa riskmått (risk för olycka t.ex.) är att de inte kan mätas på individnivå. De olika tidsbaserade måtten (se kapitel 3), är förvisso såväl individrelaterade, enkla och kontinuerliga som möjliga att ge en kvalitativ innebörd (jämför gränsen mellan allvarliga och lindriga konflikter eller klassificeringen i Svensson 1998) men ger ingen beskrivning av risk för olycka. Det går, genom jämförelsetal – t.ex. inträffade olyckor per observerade allvarliga konflikter – att få fram riskmått men man måste då använda agregerade data, dvs. man måste lämna individnivån. I säkerhetsdefinitionen måste dessutom skadeföljden få plats. Trafiksäkerhet – oavsett definition – är alltså på flera sätt avsevärt mer komplext än framkomlighet: medan framkomlighet kan beskrivas genom en enda parameter – fördröjning – som enkelt kan mätas kräver trafiksäkerhet flera parametrar som svårigen kan mätas. Bara svårigheterna att få tag i tillförlitliga uppgifter om faktiskt inträffade olyckor visar detta.

Detta innebär att man vid studium av enskilda trafikanter är man hänvisad till olika sekundära säkerhetsmått, dvs. mått som indirekt beskriver trafiksäkerhetssituationen men som inte ger någon direkt information om risken för olyckor etc. Några sådana mått presenteras i nästa kapitel.

¹ Man ska ha kapacitetsdefinitionen i minnet här.

² LOS = Level Of Service. Det kan vara av intresse att från och med HCM 1994 så ingår inte säkerhet i definitionen av LOS.

3. Några viktiga individbaserade mått

För studium av interaktioner mellan trafikanter finns det en rad beskrivande mått. De flesta av dessa baseras på tidmätning, dvs. tid mellan verkliga eller projicerade händelser. Måtten, eller snarare mätningarna, är inte oberoende av omgivningen. Särskilt viktig torde hastigheten hos trafikanterna vara. Mellan de olika mått som beskrivs nedan finns olika samband. Dessa diskuteras i kapitel 5.

3.1 Tids- och sträckavstånd

Det enklaste av alla mått är tidsavståndet mellan fordon i en kolonn. Man kan skilja mellan olika typer av tidsavstånd, t.ex. önskat, minsta accepterade, säkert och faktiskt tidsavstånd. Alla utom det sistnämnda innebär svårigheter att bestämma. De faktiska tidsavstånden kan modelleras statistiskt eller dynamiskt. Statisk modellering innebär att frekvensen av olika tidsavstånd bestäms av en sannolikhetsfunktion medan dynamisk modellering innebär att tidsavstånden bestäms genom en insignal-utsignal-modell. En sådan modell är car-following modellen med insignalerna hastighet, relativ hastighet, faktiskt tidsavstånd och faktiskt sträckavstånd vid tidpunkten t . Utsignal är hastighet vid tidpunkten $t+\delta$ där δ är ett tidssteg.

Sträckavstånd kan behandlas analogt med tidsavstånd. Tids- och sträckavstånd har såväl framkomlighets- som säkerhetsimplikationer.

3.2 Kritiska tidsavstånd

Kritiska tidsavstånd är ett något mer komplicerat begrepp än (faktiskt) tidsavstånd, bl.a. därför att det inte går att mäta direkt. Antag att en förare (eller för den delen en gående eller en cyklist) väntar först i en kö i en korsning för att kunna passera en överordnad led (eller svänga in på denna). Föraren kommer att vänta tills hon finner en tidlucka mellan två överordnade fordon (dvs. med företräde) som är "tillräckligt stor" innan hon kör. "Tillräckligt stor" kan här få betyda att det finns en tidsrelaterad säkerhetsmarginal som innebär att allvarlig konflikt eller olycka undviks. Tidluckan får emellertid inte vara för lång för då kommer väntetiden att bli lång, åtminstone om trafikflödet är högt. Det kritiska tidsavståndet som är det minsta tidsavstånd mellan två överordnade fordon som kan accepteras kan ses som en kompromiss mellan kraven på god säkerhet och låg fördröjning.

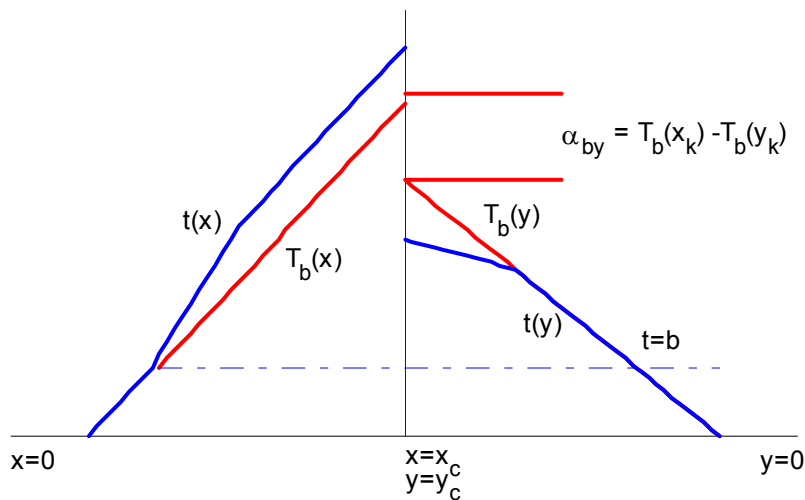
Det kritiska tidsavståndet kan mätas genom att studera förkastade och accepterade tidsavstånd och det kan då visas att det är beroende av bl.a. den fysiska utformningen och hastigheten.

3.3 Kritiska tidsfördelar

Interaktionen mellan fotgängare och svängande fordon i en trafiksignal³ kan ej beskrivas med kritiska tidsavstånd eftersom det inte finns någon absolut prioritet för någon av strömmarna. Istället kan man använda en utvidgning av den kritiska tidsavståndsmodellen, den kritiska tidsfördelsmodellen. Beskrivningen av dennas baseras på Nordqvist och Hansson (1976) och Statens Vägverk (1977).

³ Vi antar att fotgängare och svängande fordon tillhör samma fas.

Antag att det finns två trafikanter \mathbf{x} och \mathbf{y} , varav den ena tillhör fordonströmmen och den andra fotgängarströmmen i den ovan beskrivna konfliktsituationen, se figur 1. De två trajektorerna $t(\mathbf{x})$ and $t(\mathbf{y})$ visar hur de två trafikanterna rör sig. Trafikanten \mathbf{y} är den som först passerar konflikt-punkten ($\mathbf{x}=\mathbf{x}_c$, $\mathbf{y}=\mathbf{y}_c$). De båda trajektorerna visar att båda trafikanterna utför avvärjande manövrar. Trafikant \mathbf{y} har accelererat medan trafikant \mathbf{x} har retarderat. De två trajektorerna $T_b(\mathbf{x})$ och $T_b(\mathbf{y})$ visar den situation som skulle uppstå om ingen av de två trafikanterna gjort någon avvärjande manöver. Den hypotetiska tidsskillnaden mellan de två trafikanternas passage av konflikt-punkten är $\alpha_{by} = T_b(\mathbf{x}) - T_b(\mathbf{y})$. Denna tidsskillnad kallas den kritiska tidsfördelen för trafikant \mathbf{y} med avseende på trafikant \mathbf{x} vid tiden $t=b$. Om α_{by} är för liten för att passagen av konflikt-punkten ska vara säker måste en eller båda trafikanterna göra en avvärjande manöver. Beslutet om detta fattas vid tidpunkten $t=b$.



Figur 1 Beskrivning av kritiska tidsfördelar.

Man kan definiera fördelningsfunktionen $F_y(\alpha_{by})$ = sannolikheten att trafikanten accepterar tidsfördelen α_{by} , dvs. att $t(\mathbf{x}_k) > t(\mathbf{y}_k)$ i konflikt-punkten. Av definitionen följer $\alpha_{bx} = -\alpha_{by}$ och $F_y(\alpha_{by}) = 1 - F_x(\alpha_{bx}) = F_y(-\alpha_{bx})$. De två fördelningsfunktionerna är symmetriska och den ena kan bestämmas ur den andra. Om endast en av trafikanterna blir fördröjd övergår den kritiska tidsfördelen till ett kritiskt tidsavstånd. Den kritiska tidsfördelen definieras som $E(\alpha_{by})$.

3.4 Konflikter

Ett beteendebaserat riskmått är konflikter. En definition finns i Amundson och Hydén (1977):

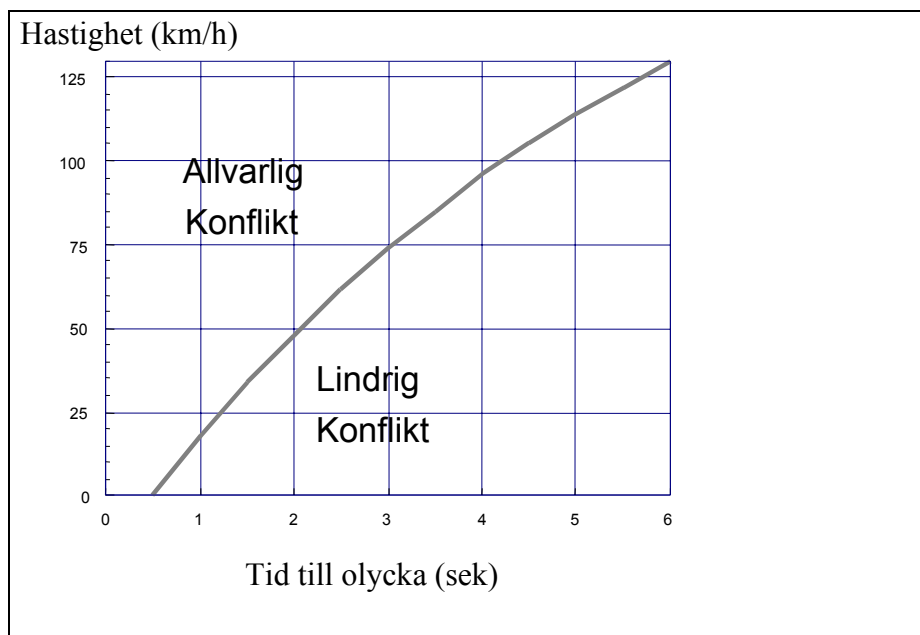
"A conflict is an observable situation in which two or more road users approach each other in space and time to such an extent that there is a risk of collision if their movements remains unchanged."

Från Hydén (1987) kan vi hämta följande hypotes:

"There are elementary events, defined as serious conflicts, that can be characterised as break-downs in the interaction...."

Konflikter är alltså observerbara sammanbrott i interaktionen mellan trafikanter. Språkbruket är, även i en del vetenskapliga rapporter, inte konsekvent och med konflikt avses ibland endast allvarlig konflikt.

Definitionen av konflikter kan göras med en tidskontinuerlig funktion, TTC (Time-to-Collision), som är tiden till dess att en olycka inträffar. TTC är definierad på hela tidsskalan. Det finns två viktiga punkter på denna tidsskala. Den första av dessa är TTC_{\min} som är det minsta TTC-värdet. Den andra är TA (Time-to-Accident) som är den punkt på tidsskalan vid vilken en avvärjande manöver – från någon av trafikanterna – påbörjas. För att kunna bestämma allvarlighetsgraden i en konflikt måste hänsyn tas till hastigheten hos de inblandade trafikanterna, se figur 2. Eftersom TTC beräknas genom projicerade trajektorier kommer antaganden om vinkelhastighet och acceleration att påverka resultatet. I allmänhet antas att såväl vinkelhastighet som acceleration är noll. Ibland görs beräkningen med konstant acceleration, TTCA (van der Horst 1990).



Figur 2 Gräns mellan allvarlig och lindrig konflikt.

3.5 PET

Ett annat beteendebaserat riskmått är PET (Post-Encroachment Time), se van der Horst (1990). Det definieras som tiden mellan det att en trafikant lämnat en konfliktpunkt till dess att nästa trafikant når denna. Begreppet ligger således nära säkerhetstidsberäkningen i en signalreglerad korsning. Ett lågt PET-värde innebär en risk för olycka.

PET definierar bort konflikter eftersom det utgår från att trafikanterna passerar efter varandra. Små PET-värden innebär dock risker. En annan skillnad mellan TTC och PET är att TTC definieras före interaktionen och PET efter. PET och TTC sammanfaller därför i konfliktpunkten, dvs. när TTC är 0 är PET också 0.

3.6 Manövreringstid

Med manövreringstid förstås den tid det tar för en trafikant att genomföra en viss manöver, t.ex. för en bilförare att genomföra en vänstersväng från underordnad led i en korsning med väjningsplikt. Det accepterade tidsavståndet för ett fordon kan ses som summan av detta fordons manövreringstid och PET för interaktionen mellan det under- och överordnade fordonet (Horst 1990).

3.7 Diskussion

De tidsbaserade mått som är relaterade till framkomlighet kan relativt enkelt användas för att beräkna t.ex. kapacitet eller fördröjning. Kritiska tidsavstånd kan användas för att beräkna kapaciteten för en underordnad fordonsström och car-following modeller kan integreras för att ge kapacitetssamband för en vägsträcka, dvs. de tidsbaserade framkomlighetsmått kan med hjälp av matematiska operationer ge olika framkomlighetsmått. Något sådant är inte möjligt för de trafiksäkerhetsrelaterade måtten. Skälet är svårigheten att bygga en teori för sällsynta händelser, baserat på observationer av normala fenomen.

4. Undersökningar av säkerhet och framkomlighet

I detta kapitel refereras undersökningar av sambandet mellan framkomlighet och säkerhet. Undersökningarna är systematiserade utifrån vilka modeller de bygger på:

Empiriska makromodeller
 Empiriska mikromodeller
 Analytiska mikromodeller
 Stokastiska mikromodeller

4.1 Empiriska makromodeller

De studier som gjorts kan indelas i två kategorier, nämligen de som enbart tar hänsyn till flödet och de som också inkorporerar något framkomlighetsmått i sambanden.

4.2 Samband mellan flöde och säkerhet

Torbic et al. (1998) refererar tre olika studier av fyrfältiga landsvägar som resulterade i U-formade samband mellan olyckskvot och flöde. En av studierna omfattade endast en vägsträcka, dvs. det går att få ett samband mellan olyckskvot och flöde genom att dividera med kapaciteten.

De analyser som gjorts av olyckssamband i Sverige, se Brüde och Larsson (1992) visar att olyckskvoten ökar med ökande flöde. Ökningen är beroende av Q^a där Q är det totala flödet och a en konstant med ett värde på 0,2 (i de flesta fall) till 0,45. Sambanden är utvecklade för olika korsningstyper – stopp/väjnning (ABC), cirkulationsplats (D), trafiksignal med och utan O-funktion (EE/ES) – med tre eller fyra anslutande vägar. Det går inte att dra några slutsatser om eventuella samband mellan t.ex. belastningsgrad och förväntat antal olyckor. För fotgängare och cyklister är sambanden mera komplexa. Olyckskvoten minskar med ökande fotgängar- respektive cykeltrafikflöde men ökar med ökande fordonstrafikflöde.

Konflikttekniken ger möjlighet att göra analyser på mikronivå under väsentligt kortare tider. Ekman (1996a) studerade samband mellan säkerhet och flöde för oskyddade trafikanter med hjälp av observerade allvarliga konflikter. Eftersom resultaten redovisas på olika sätt går det ej att göra några mer ingående jämförelser. Vissa likheter går dock att se, som att såväl Brüde och Larsson (1992) som Ekman (1996a) visar att ökande fordonstrafikflöde ger högre risk för fotgängare. Motsvarande samband för cyklister visar däremot på olikheter, bland annat på grund av den oregelbundna form som sambandet mellan konfliktkvot och fordonstrafikflöden uppvisar.

För cyklister minskar såväl olycks- som konfliktkvoter med ökande cykeltrafikflöde. Motsvarande olyckskvot för fotgängare minskar på motsvarande sätt medan konfliktkvoten är relativt oförändrad av flödet (oregelbunden kurva utan synbar trend).

Brüde och Larsson (1992) diskuterar kortfattat skadeföljden och skadekvoten som är en komplikation i sammanhanget – olycks- eller säkerhetsanalyser är inte enbart en fråga om antal inträffade olyckor.

4.3 Samband mellan framkomlighet och säkerhet

Frantzeskakis och Iordanis (1987) studerade en motorväg i Grekland. Olyckskvoten var i stort sett konstant upp till en belastningsgrad av 0,65 (LOS A till LOS D) men ökade därefter kraftigt.

För allvarligare olyckor noterades ett U-format samband. Frantzeskakis och Iordanis (1987) refererar till liknande samband funna av Paravantis (1984).

Hall och de Hurtado (1992) undersökte signalreglerade korsningar i Albuquerque, USA. De fann en svag positiv korrelation mellan flöde och olyckskvoter. När datamaterialet, bestående av olycks- och trafikflödesdata för 445 korsningar, reducerats från korsningar med låg (ej LOS A) eller mycket hög belastningsgrad, fann de ett samband mellan belastningsgrad och olyckskvot. Sambandet var kvadratisk med minimum vid en belastningsgrad av 0,80. Sambandet är dock svagt, andelen förklarad varians var endast ca. 10 %⁴. De skattade sambanden mellan antal olyckor och flöde är starkare med en andel förklarad varians av ca. 40 %⁵. Också olyckskvoten var positivt korrelerad med flödet

Persaud och Nguyen (1998) studerade också signalreglerade korsningar och samband mellan olyckor och framkomlighet. De fann säkerställda samband mellan antalet inträffade olyckor och fördröjning respektive mellan antalet inträffade olyckor och LOS. Sambanden visade att det förväntade antalet olyckor ökade när framkomligheten försämrades, mätt som LOS.

Antalet inträffade konflikter kan relateras mot medelfördröjning eller LOS. Studier av detta slag har gjorts av Torbic et al. (1998). För vissa typer av konflikter, nämligen upphinnandekonflikter orsakade av retardation eller körfältsbyte, minskade konfliktfrekvensen när fördröjningen ökade. Det totala antalet konflikter ökade dock med ökande fördröjning.

4.4 Empiriska mikromodeller

Med detta avses modeller för interaktioner mellan trafikanter, baserade på mätdata. Några sådana studier som behandlar såväl framkomlighet som säkerhet är inte gjorda. Däremot finns det studier där trafikprocessen studerats i ett vidare perspektiv än enbart olyckor och allvarliga konflikter. Svensson (1998) definierade ett antal konfliktklasser, baserade på TA-värde, och undersökte frekvensen av dessa för olika typer av interaktioner i några olika korsningar. Studien visar att konfliktpyramiden kan ha mycket olika form, beroende på bl.a. typ av interaktion.

I studier av kritiska tidsavstånd har det kunnat visas att det kritiska tidsavståndet minskar med ökande väntetid och/eller betjäningstid (se t.ex. Teply et al. 1997). Man kan se detta som en stark indikation på att det förekommer kompromisser mellan fördröjning och säkerhet på individnivå. Det är rimligt att tolka dessa resultat som att ökad fördröjning ger fler konflikter.

Song et al. (1993) har studerat fördröjning och risk för fotgängare som korsar en gata mittemellan två korsningar. Fördröjningen har modellerats med kritiska tidsavstånd, baserat på några olika strategier för att korsa en gata. Tyvärr förefaller de följande beräkningarna av fördröjningen att vara felaktigt gjorda. Också beräkningen av olycksriskerna reser en del frågetecken.

4.5 Analytiska mikromodeller

Med detta avses modeller för interaktioner mellan trafikanter där effekterna kan bestämmas genom analytiska samband. Modellen kan sägas vara deterministisk eftersom identiska indata ger identiska resultat.

⁴ Det är dock klart att belastningsgraden spelar in, man får skilja mellan att sambandet innehåller variabler som är statistiskt signifikanta och att andelen förklarad varians är låg.

⁵ Brüde och Larsson (1992) har ungefär samma andel förklarad varians i sina samband.

En studie har gjorts av Ha and Berg (1994) i signalreglerade korsningar. Deras arbete bygger på en modell för konflikttillfällen. För oreglerade vänstersvängande definierades ett konflikttillfälle av storleken på tidsavstånden i den överordnade fordonsströmmen. Om tidsavstånden var av storleken $a \pm 2$ s. antogs ett konflikttillfälle föreligga. a är manövreringstid. 2 s. motsvarar variansen på det kritiska tidsavståndet⁶. För upphinnandeolyckor definierades antalet konflikttillfällen som det möjliga antalet kollisioner, beroende på retardationer, dvs. alla fordon som bromsar in innebär ett tillfälle till konflikt. Antalet konflikttillfällen blir med dessa definitioner positivt korrelerade med flödet. Resultaten från den analytiska modellen jämfördes med antalet inträffade olyckor men det gick inte att finna några samband.

4.6 Stokastiska mikromodeller

Med detta avses modeller för interaktioner mellan trafikanter där effekterna inte kan bestämmas genom analytiska samband. Modellen kan sägas vara stokastisk eftersom identiska indata inte behöver ge identiska resultat. Denna typ av modeller betecknas i allmänhet som simuleringsmodeller. Simulering är ett hjälpmedel för att kunna förstå och beräkna komplexa situationer. Simulering är dock inget universalhjälpmedel som i ett slag löser alla problem. För att kunna simulera t.ex. väntetider i en korsning krävs data om förarbeteende (hur man accelererar och retarderar, vilka tidluckor man kan acceptera etc.). Många gånger kan indatakraven vara lika stora som eller större än kraven för en analytisk modell. Precis som för analytiska modeller innebär simulering svårigheter med generalisering.

4.6.1 Modeller för oreglerade korsningar

Ett av de första försöken att simulera konflikter gjordes av Cooper and Ferguson (1976) som studerade motorfordon i trevägskäl. Studien bygger på kritiska tidsavstånd. Sannolikheten att ett tidsavstånd ska accepteras modelleras som en exponentialfördelning. I denna ingår en missbedömningsfaktor som förskjuter det kritiska tidsavståndet så att tidsavstånd som innebär konflikt kommer att accepteras. Sannolikheten för att ett tidsavstånd t accepteras, givet den manövreringstid x som krävs och missbedömningsfaktorn e kan skrivas $F(t-x+e)$ där $F(0)=0$.

Tidsavstånden i de överordnade strömmarna är bestämda genom en M3-fördelning (Cowan 1975). Beroende på missbedömningsfaktorernas storlek kommer ett antal tidsavstånd som är mindre än den tid det tar för ett fordon att passera konfliktpunkten att accepteras vilket leder till en konflikt. Hur missbedömningsfaktorn bestämts är ej redovisat.

Ett annat försök gjordes av McDowell, Wennell, Storr and Darzentas (1983) i en vidareutveckling av ovanstående modell. De mätte såväl kritiska tidsavstånd som manövreringstid och fann att dessa variabler var starkt positivt korrelerade. Varje förare tilldelades ett kritiskt tidsavstånd som slumpades från en empirisk fördelning. Dessutom tilldelades varje förare en manövreringstid som, för korsande manöver, slumpades från en empirisk fördelning och för anslutande manöver bestämdes av förarens önskade hastighet. Om manövreringstiden var mindre än det accepterade tidsavståndet noterades interaktionen som en konflikt.

Tyvärr framgår det ej fullständigt hur sambanden mellan erbjudna och accepterade tidsavstånd samt manövreringstiden ser ut i simuleringsmodellen. Det framgår ej heller om man i simuleringen tar hänsyn till den empiriskt funna korrelationen mellan kritiskt tidsavstånd och manövreringstid.

⁶ Det förefaller irrelevant att använda variansen här men förfarandet ger ett ungefärligt 85 % konfidensintervall.

Modellen är validerad mot olycksdata för de sex korsningar som simulerats. Om korsningarna rangordnas med avseende på antal olyckor resp. antal konflikter fås en god rangkorrelation i de flesta fall.

Sayed, Brown and Navin (1994) har konstruerat en modell liknande den som Cooper and Ferguson (1976) utvecklade. Faktorerna som påverkar valet av tidlucka har ökats och omfattar:

- Typ av korsning. Företrädesreglering medför kortare kritiskt tidsavstånd än stoppreglering.
- Kön och ålder. Män har kortare genomsnittlig accepterad tidlucka än kvinnor och yngre förare har kortare accepterad tidlucka än äldre förare.
- Korsningens storlek. Ju större korsning, desto större kritiskt tidsavstånd.
- Tunga fordon. Dessa har större kritiskt tidsavstånd än personbilar.
- Väntetid. Ju längre man får vänta desto kortare blir det kritiska tidsavståndet.

För samtliga dessa faktorer finns mätdata tillgängliga. Simuleringen startar med att en förare tilldelas ett kritiskt tidsavstånd från en trunkeerad normalfördelning och ställs att vänta i kö eller vid stopplinje. Det kritiska tidsavståndet uppdateras efterhand med avseende på väntetiden. Varje förare tilldelas också en manövreringstid, dvs. den tid det tar att utföra köruppgiften (korsa vägen). Denna tid hämtas från en annan trunkeerad normalfördelning. Såväl det kritiska tidsavståndet som manövreringstiden är beroende av förarens ålder (ung/gammal) och kön.

Beslutsriteriet är det vanliga vid kritisk tidsavståndsteori: är tidluckan i den överordnade strömmen större än det kritiska tidsavståndet kommer föraren att köra, annars inte. Utfallet av detta beslut är i modellen helt bestämt och givet av de båda inblandade fordonens rörelsemönster och en konflikt uppkommer när en förare bestämmer sig för att köra trots att det föreligger risk för kollision. Endast konflikter med TTC mindre än 1,5 s noterades.

Modellen är validerad på två sätt. Data för varje simulerad konflikt har sparats (30 s före till 30 s efter). De simulerade konflikterna har därefter analyserats genom datoranimering.

Vidare har simulerade och observerade data jämförts, se tabell 1. Överensstämmelsen är förhållandevis bra.

Tabell 1. Simulerat och observerat antal konflikter: Observerad hastighet låg mellan 50 och 70 km/tim.

Plats	Observerat antal	Simulerat antal (50 km/tim)	Simulerat antal (70 km/tim)
1	8	5	10
2	19	17	21
3	10	6	8
4	15	9	12
Summa	52	37	51

Stoppliket visades ge betydligt färre konflikter än väjningsplikt. Orsaken till detta var lägre kritiska tidsavstånd för väjningsplikt. Antalet konflikter växer exponentiellt med flödet. Förklaringen till denna ökningstakt är i stor utsträckning att det kritiska tidsavståndet sjunker med väntetiden, som i sin tur är flödesberoende. Någonstans vid 400 till 600 fordon/timme nås en brytpunkt och

väntetiden växer snabbt. Också hastighetens inverkan studerades, beroendet var helt linjärt. Allvarlighetsgraden mättes som TTC. Detta värde sjunker (ökande allvarlighetsgrad) med ökad hastighet och flöde.

Missbedömning innebär att ett sammanbrott har skett och på så sätt förefaller ju den modell som använts av Cooper and Ferguson (1976) harmoniera med konfliktdefinitionen. Svårigheten ligger i att beräkna missbedömningsfaktorn. De modeller som utvecklats av McDowell et al. (1983) och Sayed, Brown and Navin (1994) bygger på manövreringstid men i de angivna referenserna är tyvärr beräkningen av manövreringstiden ej närmare definierad. I båda modellerna förefaller det att finnas åtminstone ett visst mått av oberoende gentemot det valda kritiska tidsavståndet för en förare. "A conflict occurs when a driver decides to execute a manoeuvre that puts him/her at a risk of collision with another vehicle." (Sayed, Brown and Navin 1994). Dvs. om ett tidsavstånd accepteras kommer manövreringstiden att vara beroende av hur lång den accepterade tidluckan är. Detta innebär att risken för konflikt kommer att öka ju kortare det accepterade tidsavståndet är men att ökningen inte kommer att vara proportionell mot minskningen av tidsavståndet utan beroende av hur föraren reagerar på ett kortare tidsavstånd. En förare som agerar under förhållanden när risken för en olycka är stor anpassar förmodligen sitt beteende därefter.

De tre refererade modellerna har alla någon allvarlig brist, antingen svårigheten att mäta missbedömningsfaktorn eller beroendet mellan en förares val av kritiskt tidsavstånd och manövreringstid. Å andra sidan tyder åtminstone en del av resultaten på att det går att få trovärdiga resultat. Det kan därför inte uteslutas att modellerna är rimliga på makronivå, dvs. att ingående variabler är betydelsefulla och att sambanden dem emellan är principiellt riktiga.

Ytterligare en simuleringsstudie har gjorts av Zhang och Zhang (1988). De studerade samband mellan antalet inträffade konflikter och flöde i korsningen. En konflikt definierades som en situation när ett av de inblandade fordonen tvingas bromsa eftersom det finns ett annat fordon i korsningen. Med denna definition blir antalet konflikter stort och beroende av produkten av de båda flödena som är i konflikt.

4.6.2 Studier av övriga trafikanläggningar

En simuleringsstudie har gjorts av Fazio, Holden och Roupail (1993) för vävningssträckor på motorvägar. Studien byggde på en programvara för simulering. Hur interaktionerna mellan fordon modelleras och hur olika parametervärden bestäms framgår ej av studien. För medellånga vävningssträckor fann man ett samband mellan antalet simulerade konflikter och inträffat antal olyckor.

Schnittger (1991) studerade samband mellan parametrar som beskriver förar- och fordonsegenskaper och kapacitet med car-following modeller. Studien visade att vissa sådana egenskaper, såsom önskad frifordonshastighet och inbromsningsegenskaper, inte påverkade kapaciteten. Mest betydelsefull var "det säkra" tidsavståndet mellan fordon. Då det analytiska uttrycket för kapaciteten utgörs av det inverterade medelvärdet av tidsavstånden mellan fordonen är resultatet inte oväntat.

4.6.3 Diskussion

Simuleringsmodeller används då det inte är möjligt att räkna analytiskt. Detta kan bero på att det inte finns några analytiska lösningar, att antalet inblandade objekt är för stort eller att det beräknade tidsintervallet är stort men den önskade tidsupplösningen är fin. I vissa fall kan dock analytiska lösningar vara relativt hanterbara. Bland annat torde de modeller för uppkomst av konflikter

som använts i de ovan refererade simuleringsstudierna för korsningar kunna ersättas av multiplikationer eller faltningar av sannolikheter eller sannolikhetsfunktioner.

4.7 Sammanfattning

Det finns ett antal empiriska studier på makronivå som visar på samband mellan flöde och säkerhet respektive framkomlighet och säkerhet för motorfordon. Sambanden mellan olyckskvot och fordonstrafikflöde och mellan olyckskvot och belastningsgrad eller fördröjning är antingen linjära och växande eller kvadratiska. För korsningar utan trafiksignaler är det möjligt att detta beror på ett samband mellan fördröjning och risktagande på individnivå, ett samband som visar sig i kortare accepterade tidsavstånd vid ökad fördröjning. För korsningar med trafiksignaler och för sträckor kan man anföra motsvarande förhållande, att risktagandet ökar när fördröjningen ökar.

För oskyddade trafikanter innebär ökande flöden minskande olycks- och konfliktkvoter. En ökning av flödet för oskyddade trafikanter har liten eller ingen påverkan på fördröjningen och därmed minskar behovet av ökad risktagning. Fler oskyddade trafikanter kan också innebära att bilisterna är mer uppmärksamma och att konflikter och olyckor därför lättare kan undvikas.

Det finns inga kända studier av samband mellan framkomlighet och säkerhet på individnivå. Däremot kan de simuleringsstudier som är gjorda ge en grund, bl.a. genom att de strukturerat olika konfliktsituationer.

Studierna visar också, direkt eller indirekt, på det besvärliga komplementetsproblemet som berördes i kapitel 2. Framkomlighet och säkerhet går att definiera med hjälp av olika tidsrelaterade mått. Måtten för säkerhet (i alla fall konfliktmåttet) går att relatera till olyckor genom samband mellan konflikter och olyckor, se bl.a. Hydén (1987) men för att kunna göra detta är det nödvändigt att lämna individnivån. Skillnaden mellan risk, definierad utifrån konflikter (eller PET) och säkerhet, definierad som olyckskvot inklusive skadeföljd, är därför av stor betydelse.

5. En ansats för studier på individnivå

5.1 Inledning

Ansatsen utgår från en systematisk nerbrytning och klassificering av problemet. Det första steget är rimligen att försöka definiera forskningsproblemet. Problemet har ovan allmänt och ganska vagt uttryckts som att finna samband mellan framkomlighet och säkerhet. Problemställningen kan avgränsas något genom att enbart behandla framkomlighet och säkerhet på individnivå. Det är uppenbart att säkerhetsproblem, eller snarare, risk för olycka alltid föreligger oavsett om en trafikant är ensam eller inte. Olika studier, som refererats ovan, visar att sambanden på makronivå mellan säkerhet och framkomlighet är komplexa och att säkerheten ej är en monoton funktion av framkomligheten. För olika framkomlighetsmått, t.ex. fördröjning, är det uppenbart att dessa är monotona funktioner av flödet. Funktionerna är kontinuerliga och det går alltså inte att teoretiskt avgöra någon punkt under vilken det inte existerar något framkomlighetsproblem som beror av interaktioner mellan trafikanter (förutom övergången från ett till två trafikanter i det studerade systemet). Det förekommer dock att vissa framkomlighetsproblem studeras med hjälp av diskontinuerliga funktioner. Carlsson och Cedersund (1998) har gjort så när de studerade samband mellan hastighet och flöde på motorvägar. Dessa samband studerades med multi-regim modeller som innebär att man definierar brytpunkter på hastighetskurvan och däremellan använder enkla funktioner (oftast linjära). Brytpunkterna är således en konstruktion baserad på mätdata. I allmänhet går det dock inte att a priori avgränsa det flödesintervall som ska studeras. Forskningsproblemet blir således mycket vagt uttryckt: att studera samband mellan framkomlighet och säkerhet på individnivå.

Nästa steg är att försöka systematisera de olika slag av interaktioner som ska studeras. Olika sätt att systematisera interaktioner har gjorts i några av de referenser som redovisats ovan. Ett sätt, men säkert inte det enda, att systematisera interaktioner utgår från hur detta görs inom trafikflödesteorin, dvs. korsningar och vägsträckor behandlas var för sig. Denna indelning ger upphov till problematiska övergångszoner som kan kräva särbehandling.

Interaktioner i korsningar kan systematiseras analogt med konfliktmatrisen för en signalreglerad korsning, se t.ex. Cooper and Ferguson (1976), McDowell et al. (1983), Ha och Berg (1994) och Sayed et al. (1994). Detta innebär att interaktionerna behandlas per trafikström. För en fyrvägs-korsning förekommer tolv fordonsströmmar, tolv eller åtta cykelströmmar beroende på om cykeltrafiken är separerad eller ej samt åtta gångtrafikströmmar. Olyckor kan emellertid inträffa också mellan fordonsströmmar som normalt inte interagerar, t.ex. mellan två högersvängande strömmar. Hauer et al. (1988) täcker in också sådana olycksmönster.

Interaktioner på vägsträckor är av tre slag, upphinnanden, omkörningar och möten. Upphinnandeförlopp modelleras trafikflödesteoretiskt med car-following modeller och möten med omkörningsmodeller. I övergångszonen uppkommer interaktioner i kö och/eller kolonn, dvs. upphinnandeförlopp. En del av interaktionerna är mindre betydelsefulla ur framkomlighetssynpunkt, t.ex. fordonsrörelser inom den del av kön till en trafiksignal som ligger så långt bort att de ej kommer att avvecklas under pågående grönperiod.

Nästa steg blir att beskriva de olika interaktionernas tidsmässiga förlopp och till detta koppla de tidsbaserade mått som beskrivits ovan eller att utveckla nya sådana mått. Särskild uppmärksamhet får ägnas de kritiska tidsavstånden och de kritiska tidsfördelarna som kan skattas utifrån mätningar men ej mätas direkt.

Med dessa beskrivningar som grund bör några interaktioner kunna väljas ut för ett mer ingående studium. Mätningarna måste göras så att hastigheter och accelerationer kan bestämmas för de studerade trafikanterna. Detta innebär med stor säkerhet att det enda möjliga mätningförfarandet är videofilmning och bildbehandling. Mätningarna kommer att bli omfattande eftersom ett mycket stort antal interaktioner måste mätas med flera mätpunkter. Vid studier av enbart kapacitetssamband mätes ett stort antal interaktioner med få mätpunkter – t.ex. bara en hastighetsmätning per fordon – medan det vid konfliktanalyser mätes få interaktioner (allvarliga konflikter) men med flera mätpunkter. Ett undantag från detta är den studie som utförts av Svensson (1998) då mätningen omfattade konflikter med höga TA-värden.

Eftersom ett stort antal interaktioner ska mätas är det förmodligen mest fruktbart att utgå från försöksuppställningar gjorda för mätningar av framkomlighetssamband. Det finns ett mycket stort antal sådana mätningar gjorda, även om enbart de som är gjorda på mikronivå inräknas. Det är dock inte säkert att de mätförfaranden som använts är användbara i detta sammanhang eftersom de inte alltid medger den höga tidsupplösning som kan behövas.

I de följande avsnittet beskrivs några olika typer av interaktioner.

5.2 Beskrivning av interaktioner

I beskrivningen lämnas övergångszonerna därhän.

5.2.1 Vägsträckor

För vägsträckor kan man definiera tre stycken interaktioner, upphinnande, mötande och omkörande.

Upphinnande

För studier av fordon i ett körfält är det lämpligt att utgå från tidsavstånd mellan fordon. När trafikflödet ökar kommer de genomsnittliga tidsavstånden att minska och samtidigt sjunker hastigheten och tills sist när trafikflödet kapaciteten. Flödet är då instabilt vilket innebär att såväl hastigheter, som densitet och tidsavstånd fluktuerar. Vi antar nu att vi kan mäta acceleration och hastighet för fordon längs en sträcka. Mätningarna görs i n snitt genom att passagetidpunkten noteras. Två mätpunkter ger hastighet och tre mätpunkter acceleration. Detta ger möjlighet att för varje par av konsekutiva fordon ange tidsavståndet h mellan fordonen samt att beräkna TTC. Dessa båda mått kan beräknas antingen för varje hastighetsobservation (antagande om konstant hastighet) eller för varje accelerationsobservation (antagande om konstant acceleration), dvs. $n-1$ eller $n-2$ beräkningar. TTC kan beräknas med hjälp av rörelselagarna. T.ex. för konstant hastighet

fås $TTC = \frac{d}{\Delta v}$, där d är sträcka och Δv hastighetsskillnaden mellan de båda fordonen. Det går

därefter – åtminstone teoretiskt – att bestämma parvisa samband mellan tidsavstånd, TTC och hastighet och mellan alla tre variablerna. Detta samband går dessutom att göras avhängigt av ett hastighetsflödessamband. Stora värden på n ger möjlighet till bestämning av såväl individ- som populations samband. För att få en noggrann bestämning bör man kunna mäta två fordon samtidigt om tidsavstånden mellan dessa är små.

I praktiken blir undersökningarna naturligtvis mer komplicerade. Faktorer som t.ex. siktsträcka påverkar beteendet.

Mötande

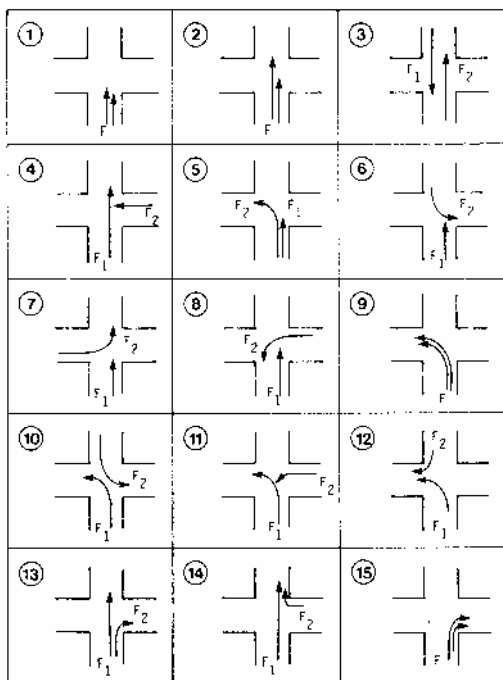
För fordon på mötande kurs är det förmodligen svårt att finna några samband mellan framkomlighet och säkerhet.

Omkörande

För omkörande fordon, med ett körfält i varje riktning, är det möjligt att göra en studie av motsvarande slag som för upphinnande fordon, även om situationen är svårare. En svårighet är mätningen eftersom en omkörning kräver en lång sträcka och mätningar måste göras över hela sträckan fram till första mötande bil eller siktsträckans slut.

5.2.2 Korsningar

Olika sätt att klassificera interaktioner har diskuterats ovan. Här kommer vi att utgå från den indelning som gjorts av Hauer et al. (1988), se figur 3. Denna indelning bygger på en analys av inträffade olyckor. Skillnaden mellan situation 1 och 2 är var olyckan inträffar, före eller efter stopplinjen. Indelningen bygger på fordonens rörelseriktning och ej på olyckstyp. Olyckorna av typ 1 fördelar sig på bl.a. upphinnandeolyckor (den vanligaste kategorin) och sidokollision. Det är uppenbart att antalet interaktionstyper är stort.



Figur 3 Möjliga interaktioner i en fyrvägskorsning (från Hauer et al. 1988) för motorfordon.

5.3 Val av interaktioner

Val av interaktioner förutsätter att det finns några kriterier att grunda detta val på. Utformningen av dessa får överlätas till kommande forskningsprojekt.

6. Sammanfattning

Denna rapport är en förstudie av sambandet mellan framkomlighet och trafiksäkerhet, baserad på i litteraturstudier i första hand. Sådana samband kan sökas på såväl mikro- som makronivå. Den största svårigheten i att finna sådana samband torde vara att de händelser som olika trafiksäkerhetsdefinitioner bygger på är alla mer (oftast) eller mindre sällsynta. Detta medför antingen att data måste aggregeras eller att oerhört många situationer måste studeras. Studier på mikronivå innebär svårigheter med att finna direkta säkerhetsmått, dvs. relationer till skadeföljd.

Indirekta säkerhetsmått, såsom konflikter och PET, kan relateras till inträffade olyckor men kräver då studier också på makronivå. Mycket talar därför för att de indirekta säkerhetsmåten måste användas. Motsvarande framkomlighetsmått på individnivå, särskilt fördröjning, är däremot direkt kopplade till framkomligheten.

Det finns ett antal empiriska studier på makronivå som visar på samband mellan flöde och säkerhet respektive framkomlighet och säkerhet för motorfordon. Sambanden mellan olyckskvot och fordonstrafikflöde och mellan olyckskvot och belastningsgrad eller fördröjning är antingen linjära och växande eller kvadratiska.

För oskyddade trafikanter innebär ökande flöden minskande olycks- och konfliktkvoter. En ökning av flödet för oskyddade trafikanter har liten eller ingen påverkan på fördröjningen och därmed minskar behovet av ökad risktagning. Fler oskyddade trafikanter kan också innebära att bilisterna är mer uppmärksamma och att konflikter och olyckor därför lättare kan undvikas.

Det finns inga kända studier av samband mellan framkomlighet och säkerhet på individnivå. Däremot kan de simuleringsstudier som är gjorda ge en grund, bl.a. genom att de strukturerat olika konfliktsituationer.

Slutligen görs en ansats för studier på individnivå och tre steg skiljs ur. Det första är att definiera forskningsproblemet mer fullständigt än vad som gjorts här. Det andra steget är att beskriva olika interaktioners tidsmässiga förlopp. Därefter kan några interaktioner väljas ut för ett noggrannare studium.

7. Referenser

- Amundsen, F. and C. Hydén. (1977) Proceedings of first workshop on traffic conflicts. TØI och Institutionen för Trafikteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Brüde, U. och J. Larsson. (1992) Trafiksäkerhet i tätortskorsningar. VTI-meddelande 685.
- Carlsson, A. and Cedersund, H.-Å. (1998) A macro speed-flow model for multi-lane roads. R. Rysgaard (ed.) *Proceedings of the Third International Symposium on Highway Capacity*. Copenhagen.
- Cooper, D.F. and Ferguson, N. (1976) Traffic studies at T-junctions. *Traffic Engineering + Control* 17(7).
- Cowan, R. J. (1975) Useful headway models. *Transportation Research* 9(6).
- Ekman, L. (1996) Trafiksäkerhet. I Holmberg, B. et al. *Trafiken i samhället. Grunder för planering och utformning* Studentlitteratur..
- Ekman, L. (1996a) On the treatment of flow in traffic safety analysis. Trafikteknik. Tekniska Högskolan i Lund.
- Englund, A., Gregersen, N.P., Hydén, C., Lövsund, P. och Åberg, L. (1998) Trafiksäkerhet En kunskapsöversikt.
- Fazio, J., Holden, J. and Roupail, N. (1993) Use of freeway conflict rates as an alternative to crash rates in weaving section safety analyses. *Transportation Research Record* 1401.
- Frantzeskakis, J. M. and Iordanis, D. I. (1987) Volume-to-capacity ratio and traffic accidents on interurban four-lane highways in Greece. *Transportation Research Record* 1112.
- Ha, T. and Berg, W. (1994) Development of safety-based level of service parameters for isolated signalized intersections. *Transportation Research Record* 1484.
- Hall, J. W. and de Hurtado, M. P. (1992) Effects of intersection congestion on accident rates. *Transportation Research Record* 1376.
- Hauer, E. *Observational before-after studies in road safety -- estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety*. Elsevier Science Incorporated
- Hauer, E., Ng, J. C. N. and Lovell, J. (1988) Estimation of safety at signalized intersections. *Transportation Research Record* 1185.
- van der Horst, A. R. A. (1990) A time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters. TNO Institute for perception.
- Hydén, C. (1987) *The development of a method for traffic safety evaluation*. The Swedish Traffic Conflicts Technique. Trafikteknik. Tekniska Högskolan i Lund.

- McDowell, M., J. Wennell, P.A. Storr and J. Darzentas. (1983) Gap acceptance and traffic conflict simulation as a measure of risk. TRRL SR 776.
- Nordqvist, S. och Hansson, A. (1976) *Fältnätningar avseende fordons- och gångtrafikens framkomlighet i gatukorsningar*. Trafikteknik. Tekniska Högskolan i Lund.
- Persaud, B. and Nguyen, T. (1998) Safety considerations in capacity analysis. R. Rysgaard (ed.) *Proceedings of the Third International Symposium on Highway Capacity*. Copenhagen.
- Sayed, T., Brown, G. and Navin, F. (1994) Simulation of traffic conflicts at unsignalized intersections with TSc-Sim. *Accident Analysis and Prevention* 26(5).
- Schnittger, S. (1991) Influence of safety requirements on traffic flow. In Brannolte (ed.) *Highway Capacity and Level of Service*. Balkema, Rotterdam.
- Song, L., Dunne, M. C. and Black, J. A. (1993): Models of delay and accident risk to pedestrians. C. F. Daganzo (ed.) *Proceedings of the Twelfth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*.
- Statens Vägverk (1977). Fältnätningar avseende fordons- och gångtrafikens framkomlighet i signalreglerade korsningar. Publikation TV127.
- Svensson, Å. (1998) A method for analysing the traffic process in a safety perspective. Trafikteknik. Lunds Tekniska Högskola.
- Teply, S., Abou-Henaldy, M. I. and Hunt, J. D. (1997). Gap acceptance behaviour: aggregate and logit perspectives - Part 1. *Traffic Engineering & Control* 38(9).
- Torbic, D., Borkowski, J, Elefteriadou, L. and McFadden, J. (1998) Relationships between traffic operations and safety at signalized intersections. R. Rysgaard (ed.) *Proceedings of the Third International Symposium on Highway Capacity*. Copenhagen.
- Vägverket. (1994) Vägutformning 94. Del 7. Korsningar.
- Vägverket. (1995) Intersections without traffic signals.
- Zhang, S. and Zhang, X. (1988) Conflict and delay studies at unsignalised intersections. W. Brilon (ed.) *Intersection without Traffic Signals* Springer-Verlag.