VTI rapport 896
Utgivningsår 2016
www.vti.se/publikationer

Externa marginalkostnader för olyckor i vägtrafik

Uppdaterade beräkningar för det statliga vägnätet i Sverige

Gunnar Isacsson
Viktoria Liss

VTI rapport 896

Externa marginalkostnader för olyckor i vägtrafik

Uppdaterade beräkningar för det statliga vägnätet i Sverige

Gunnar Isacsson

Viktoria Liss

vti

Diarienummer: 2013/0308-7.4
Omslagsbilder: Hejdlösa Bilder AB
Tryck: LiU-Tryck, Linköping 2016

Referat

Denna rapport presenterar nya skattningar av den externa marginalkostnaden för lätta och tunga fordons trafikolyckor i det statliga vägnätet i Sverige år 2012. Vi använder ett datamaterial där olycksdatabasen Strada har länkats till den nationella vägdatabasen NVDB och som avser åren 2004–2012. Vi presenterar resultat från ett antal olika statistiska modeller i vilka vi beräknar den externa marginalkostnaden. Syftet med att använda flera modeller är att testa om de grundläggande modellernas resultat är robusta mellan olika alternativa specifikationer. I allmänhet verkar resultaten för lätta fordon relativt robusta och tyder på att den externa marginalkostnaden är omkring 0 öre per kilometer. Resultaten för tunga fordon är mindre robusta. Huvudmodellerna tyder på att den externa marginalkostnaden är cirka 25 öre per kilometer men en del andra modeller tyder på att den kan vara avsevärt lägre.

Titel:	Externa marginalkostnader för olyckor i vägtrafik. Uppdaterade beräkningar för det statliga vägnätet i Sverige
Författare:	Gunnar Isacsson (VTI) Viktoria Liss (VTI)
Utgivare:	VTI, Statens väg och transportforskningsinstitut www.vti.se
Serie och nr:	VTI rapport 896
Utgivningsår:	2016
VTI:s diarienr:	2013/0308-7.4
ISSN:	0347-6030
Projektnamn:	Samkost
Uppdragsgivare:	Regeringskansliet
Nyckelord:	Externa marginalkostnader, olyckor, vägtrafik, Strada, NVDB, statistisk modell
Språk:	Svenska
Antal sidor:	67

Abstract

This report presents new estimates of the external marginal cost of accidents in the national road network in Sweden 2012. We use a dataset where the accident database (Strada) is linked to the national road database for the years 2004–2012. We present results from a number of statistical models in which we estimate the external marginal cost of accidents. The purpose of using several models is to test whether results from standard models are robust. In general, it seems that the results pertaining to light vehicles are quite robust across different models suggesting that the external marginal cost of traffic accidents is around 0 SEK per kilometre. The results for heavy vehicles appear less robust and while the main models suggest that the external marginal cost is around 0.25 SEK per kilometre, other models suggest that it may well be substantially lower.

Title:	External marginal costs of road traffic accidents. An update for the Swedish national road network
Author:	Gunnar Isacsson (VTI) Viktoria Liss (VTI)
Publisher:	Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) www.vti.se
Publication No.:	VTI rapport 896
Published:	2016
Reg. No., VTI:	2013/0308-7.4
ISSN:	0347-6030
Project:	Samkost
Commissioned by:	Government Offices
Keywords:	Marginal costs, accidents, road traffic, Strada, NVDB, statistical model
Language:	Swedish
No. of pages:	67

Förord

VTI:s regeringsuppdrag om trafikens samhällsekonomiska kostnader (SAMKOST) omfattar samtliga transportslag. Syftet med uppdraget är att kartlägga vilka kostnader som uppstår vid smärre (marginella) förändringar av trafikens omfattning samt hur dessa kostnader bör hanteras.

I denna rapport beskrivs det arbete som har genomförts inom ramen för uppdraget avseende externa marginalkostnader för lätta och tunga fordons trafikolyckor. Mer specifikt är det primära syftet med denna rapport att estimera den externa marginalkostnaden för trafikolyckor på statliga vägar i Sverige med data för åren 2004–2012. Detta görs genom att estimera modeller som relaterar antal döda och skadade per vägsegment till trafikflöden på motsvarande vägsegment. Dessa modeller används sedan för att beräkna marginalkostnaden för år 2012.

Borlänge april 2016

Gunnar Isacsson

Kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfört 27 januari 2016 där Alena Høye var lektör. Gunnar Isacsson har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Mattias Haraldsson har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 28 april 2016. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Review seminar was carried out on 27 January 2016 where Alena Høye reviewed and commented on the report. Gunnar Isacsson has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Mattias Haraldsson examined and approved the report for publication on 28 april 2016. The conclusions and recommendations expressed are the author's/authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning **9**

Summary **11**

1. Inledning **13**

2. Tidigare litteratur och teoretiska utgångspunkter **16**

2.1. Formler för beräkning av externa marginalkostnaden för trafikolyckor 19

3. Empirisk ansats **24**

3.1. Grundläggande modeller och restriktioner för analysen av sambandet mellan trafikflöde och olyckor 25

3.2. Utvidgade modeller och undersökningar av restriktioner för grundanalysen av sambandet mellan trafikflöde och olyckor 28

4. Data **31**

5. Resultat **40**

6. Slutsatser och avslutande diskussion **54**

Referenser **57**

Appendix 1. ..... **61**

Appendix 2. ..... **63**

Appendix 3. ..... **67**

Sammanfattning

Externa marginalkostnader för olyckor i vägtrafik. Uppdaterade beräkningar för det statliga vägnätet i Sverige

av Gunnar Isacsson (VTI) och Viktoria Liss (VTI)

Denna rapport presenterar nya skattningar av den externa marginalkostnaden för lätta och tunga fordons trafikolyckor i det statliga vägnätet i Sverige år 2012. Vi använder ett datamaterial där olycksdatabasen Strada har länkats till den nationella vägdatabasen NVDB och som avser åren 2004–2012. Vi presenterar resultat från ett antal olika statistiska modeller i vilka vi beräknar den externa marginalkostnaden. Syftet med att använda flera modeller är att testa om de grundläggande modellernas resultat är robusta mellan olika alternativa specifikationer. I allmänhet verkar resultaten för lätta fordon relativt robusta och tyder på att den externa marginalkostnaden är omkring 0 öre per kilometer. Resultaten för tunga fordon är mindre robusta. Huvudmodellerna tyder på att den externa marginalkostnaden är cirka 25 öre per kilometer men en del andra modeller tyder på att den kan vara avsevärt lägre.

Summary

External marginal costs of road traffic accidents. An update for the Swedish national road network

by Gunnar Isacsson (VTI) and Viktoria Liss (VTI)

This report presents new estimates of the external marginal cost of accidents in the national road network in Sweden 2012. We use a dataset where the accident database (Strada) is linked to the national road database for the years 2004–2012. We present results from a number of statistical models in which we estimate the external marginal cost of accidents. The purpose of using several models is to test whether results from standard models are robust. I general, it seems that the results pertaining to light vehicles are quite robust across different models suggesting that the external marginal cost of traffic accidents is around 0 SEK per kilometre. The results for heavy vehicles appear less robust and while the main models suggest that the external marginal cost is around 0.25 SEK per kilometre, other models suggest that it may well be substantially lower.

1. Inledning

Antalet personer som omkommer på svenska vägar har sjunkit kraftigt från mitten av 1960-talet fram till idag (SCB, 2013, kapitel 10.2). Denna trendmässiga nedgång är en konsekvens av ett långsiktigt trafiksäkerhetsarbete som bl.a. lett fram till att både fordon och vägar har blivit säkrare. Trots dessa framgångar inom trafiksäkerhetsområdet dog 264 personer och 4 681 personer skadades allvarligt i den svenska vägtrafiken under år 2013 (Transportstyrelsen, 2013). Varje sådan olycka medför både mänskligt lidande och andra samhällsekonomiska förluster. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap beräknade att vägtrafikolyckorna år 2005 kostade det svenska samhället 21 miljarder kronor (MSB, 2008). Denna siffra inkluderar kostnader för bl.a. produktionsbortfall, sjukvårdskostnader och materiella kostnader.

Eftersom trafikolyckor är kostsamma för samhället innebär olycksminskande åtgärder i transportinfrastrukturen minskade kostnader för samhället. En viktig samhällsekonomisk fråga är därför hur olika typer av olyckor bör värderas vid exempelvis investeringar i transportinfrastrukturen. I ASEK-rapporten 5.1 [1] rekommenderas att: värdet av ett statistiskt liv sätts till ca 23,7 Mkr, en svårt skadad värderas till ca 4,4 Mkr, och en lindrigt skadad värderas till ca 0,2 Mkr. Dessa värden inkluderar både materiella kostnader och riskvärdering, dvs. betalningsviljan för att undvika ett dödsfall, en svårt skadad respektive en lindrigt skadad. I ASEK 5.1 rekommenderas för övrigt att egendomsskador i samband med trafikolyckor värderas till 15 000 kr (Trafikverket, 2014, kapitel 9).[2]

En annan viktig fråga ur ett samhällsekonomiskt perspektiv är i vilken utsträckning individer beaktar de risker de utsätter andra för i trafiken. Om individens olyckskostnad för att köra ytterligare en kilometer är lägre än samhällets olyckskostnad för samma kilometer kommer en del av den senare kostnaden att vara betydelselös för individens beslut om hur mycket han kör. Han kommer alltså inte att fullt ut beakta samhällets kostnader för en ytterligare kilometer och därmed ha ett ekonomiskt incitament att köra för mycket jämfört med vad som vore samhällsekonomiskt optimalt. Skillnaden mellan samhällets olyckskostnad för den ytterligare kilometern och individens olyckskostnad för samma kilometer brukar kallas för den externa marginalkostnaden för trafikolyckor. Storleken på denna marginalkostnad är bl.a. relevant för hur höga skatter och avgifter på vägtrafik ska vara ur trafiksäkerhetssynpunkt (se t.ex. Vickrey, 1968, Newbery, 1988, och Jansson, 1994).

Hur stor är då den externa marginalkostnaden för trafikolyckor och hur kommer man fram till en uppskattning av den? De allmänna principerna för att genomföra beräkningarna är väletablerade och presenteras utförligt av Lindberg (2005 och 2006). I korthet kan man säga att man först identifierar sambandet mellan trafikflöden och trafikolyckor, därefter definierar vilka kostnadselement i en trafikolycka som kan anses vara relevanta i sammanhanget och slutligen värderar man dessa element (Peirson m.fl., 1998). Utöver dessa tre steg ska man även lägga till en skattning av hur kostnaderna för en olycka fördelas mellan de inblandade trafikanterna (se t.ex. Jansson, 1994, samt Lindberg, 2001, 2005 och 2006). Den genomsnittliga externa marginalkostnaden för olyckor med personbil i glesbygd och tätort är 0,12 kr/fordonskilometer (fkm) resp. 0,22 kr/fkm i ASEK 5.1. Motsvarande siffror för lastbilar över 3,5 ton är 0,31 kr/fkm resp. 0,54 kr/fkm (Trafikverket, 2014, kap. 21). Dessa siffror verkar dock baseras på äldre samband mellan trafikflöde och trafikolyckor. Då både fordonsparken och vägsystemet förändras kontinuerligt verkar en uppdatering av sambanden med data från senare år motiverad.

[1] ASEK har varit en förkortning för ”Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder inom transportområdet”. Gruppen består av representanter från bl.a. Trafikverket, Transportstyrelsen, Sjöfartsverket, Naturvårdsverket, och Energimyndigheten.

[2] Det har kommit en uppdaterad version av ASEK rapporten (ASEK 6.0) under våren 2016. Men för att kunna jämföra resultaten här mot andra resultat för marginalkostnader i projektet SAMKOST så refererar vi här till ASEK 5.1.

Det primära syftet med denna rapport är därför att estimera den externa marginalkostnaden för trafikolyckor på statliga vägar i Sverige med data för åren 2004–2012. Detta görs genom att estimera modeller som relaterar antal dödade och skadade per vägsegment till trafikflöden på motsvarande vägsegment. Dessa modeller används sedan för att beräkna marginalkostnaden för år 2012. Syftet är *inte* att ta fram en modell för att så bra som möjligt *prediktera* antal dödade och skadade på enskilda vägsegment.[3] Detta innebär alltså att vi vill estimera en modell för betingade medelvärden för antal dödade och skadade vilken kan användas för att beräkna den externa marginalkostnaden för trafikolyckor över hela det statliga vägnätet. Detta betyder alltså att modellen i vissa trafikflödesintervall kommer att ge en för hög prediktion av utfallsvariabeln (antalet döda eller skadade eller motsvarande marginalkostnad) och i andra intervall kommer den att ge en för låg prediktion. Men den externa marginalkostnaden beräknas genom att väga samman marginalkostnader över samtliga vägsegment och då kan över- och underskattningar på enskilda vägsegment ta ut varandra. Till skillnad från många tidigare beräkningar av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor estimerar vi alltså den externa marginalkostnaden för enskilda vägsegment och aggregerar därefter över samtliga vägsegment för att komma fram till totalen för hela det statliga vägnätet.

Mer specifikt estimerar vi sambandet mellan trafikflöden och trafikolyckor genom att kombinera information från Trafikverket om det statliga vägnätet i den nationella vägdatabasen (NVDB) och information om trafikolyckor från Transportstyrelsens databas Strada (förkortning för ” Swedish Traffic Accident Data Acquisition”). NVDB innehåller bl.a. information om trafikflöden (årsdygnsmedeltrafik, ÅDT) och vägegenskaper som t.ex. hastighetsgräns och vägtyp. En del av Strada baseras på information från polisen och innehåller bl.a. uppgifter om antal döda, svårt skadade och lindrigt skadade i respektive olycka. Dessutom innehåller Strada en del uppgifter om de inblandade fordonen, t.ex. totalvikt, och förare samt passagerare.

Resultat i t.ex. Duncan m.fl. (1998) tyder på att trafikflödet minskar skadekonsekvenser i samband med kollisioner bakifrån mellan lastbilar och personbilar. Vi undersöker även trafikflödets effekt på skadekonsekvenser då en olycka inträffar (t.ex. Dickerson m.fl., 2000, s. 117) genom att estimera separata modeller för antal döda, svårt skadade och lindrigt skadade (jfr. Høye, 2014).

En annan viktig aspekt då man ska beräkna den externa marginalkostnaden för trafikolyckor är den ojämna fördelningen av skadekonsekvenserna mellan inblandade trafikanter då en personbil eller lastbil kolliderar med en oskyddad trafikant, eller då en tung lastbil kolliderar med en personbil (Jansson, 1994 och Lindberg 2001). För att beakta detta delar vi upp modellerna där så är möjligt efter hur många individer som dödas eller skadas i respektive trafikantkategori (t.ex. lätta fordon, tunga fordon, och oskyddade trafikanter) då olyckan inkluderar olika kategorier.

Den typ av samband som ligger till grund för att beräkna den externa marginalkostnaden är alltid aggregerade i någon dimension. Vi kommer t.ex. inte att någonstans göra skillnad mellan avsvängningsolyckor och upphinnandeolyckor. Detta gör att beräkningen kommer att avse någon form av genomsnittlig olycka. I vissa fall kan dock aggregering leda till systematiska skevheter i estimerade modellsamband (Mensah & Hauer, 1998). Därför kan det vara väsentligt att undersöka hur en disaggregering av olyckssambanden påverkar resultaten. Disaggregering innebär samtidigt att man behöver estimera fler modeller och parametrar för att kunna genomföra beräkningen. Detta kan i sin tur leda till sämre precision i modellerna. I rapportens empiriska del utgår vi ifrån relativt aggregerade modeller till mer disaggregerade där vi definierar olika typer av olyckor i termer av de trafikantkategorier som är inblandade.

[3] Centralt för att ta fram goda prediktionsmodeller är att få en god anpassning av modell till data samtidigt som man undviker att överanpassa modellen till data genom att t.ex. använda alltför många förklarande variabler. Detta är alltså inte centralt i denna rapport men vi presenterar resultat för AIC som ger en global utvärdering av modellens anpassning till data med en avvägning mot antalet parametrar i modellen.

Ett annat potentiellt viktigt val då man vill estimera separata effekter för flöden av lätt respektive tung trafik på antal olyckor avser om man ska inkludera båda flödena i samtliga modeller för olika typer av olyckor. Ska till exempel flöden för tunga fordon inkluderas i modeller för olyckor som *inte* inkluderar tunga fordon? Svaret på detta beror dels på hur viktig de tunga fordonens ”säkerhetshöjande effekt” för lätta fordon är (Winslott-Hiselius, 2006), dels på möjligheten att estimera två effekter i en och samma modell när trafikflöden för lätta och tunga fordon är starkt korrelerade. Vi presenterar modeller som inkluderar flöden för både lätta och tunga fordon.

Rapporten presenterar ett antal känslighetsanalyser genom att använda olika former av statistiska modeller. Syftet med detta är att undersöka hur känsliga de estimerade externa marginalkostnaderna är för variationer i statistisk modell. Vi diskuterar också under vilka förutsättningar våra estimat av elasticiteten för antal dödade/svårt skadade/lindrigt skadade med avseende på trafikflöde (”olyckselasticiteten” i det följande) påverkas av det faktum att modellerna baseras på årsflöden av trafik och inte trafikflöde under kortare tidsintervall som t.ex. en timme.

Viktiga avgränsningar är att vi i rapporten *inte* kommer att omdefiniera de kostnadselement som kan anses vara externa för individen och att vi baserar våra beräkningar på de olycksvärderingar som anges i ASEK-rapporten 5.1 (Trafikverket, 2014, kapitel 9). En annan viktig begränsning är också att vi saknar information om trafikflöden för fotgängare och cyklister. Det är förstås relevant att känna till sådana flöden om man vill beräkna hur olycksfrekvensen mellan t.ex. en personbil och en cyklist påverkas då flöden för respektive kategori förändras. Detta är relevant inte minst mot bakgrund av att ökade flöden av oskyddade trafikanter verkar minska sannolikheten för att en olycka inträffar (s.k. ”safety-in-numbers” se t.ex. Leden, 2002, och Jacobsen, 2003). För att möjliggöra analyser av olyckor mellan fordon som personbil/lastbil och oskyddade trafikanter som fotgängare och cyklister har vi istället för flöde av oskyddade trafikanter använt en form av befolkningspotentialer omkring varje observationsenhet i NVDB. Dessa konstrueras som antal individer i åldern 20–64 år som bor inom ca 2 kilometers avstånd från vägsegmentet. Andra relevanta avgränsningar och begränsningar lyfts fram senare i rapporten i anslutning till genomgång av modell och datamaterial.

Rapporten är upplagd enligt följande. I avsnitt 2 ger vi en kort sammanfattning av litteraturen angående externa marginalkostnader för trafikolyckor och teoretiska utgångspunkter för att genomföra beräkningar av dessa. I avsnitt 3 presenterar vi den empiriska modell som vi använder för att analysera sambandet mellan trafikolyckor och trafikflöden och en beskrivning av hur denna modell relaterar till tidigare undersökningar av sambandet. Data beskrivs i avsnitt 4 och resultaten presenteras i avsnitt 5. Avsnitt 6 innehåller slutsatser.

2. Tidigare litteratur och teoretiska utgångspunkter

Grundtanken i den aktuella litteraturen är alltså att en förare av ett fordon inte fullt ut beaktar de risker han utsätter andra för i trafiken när han bestämmer sig för att köra mellan två punkter A och B. En ansats för att beräkna den externa marginalkostnaden för trafikolyckor kan därför baseras på att man (se referenser i inledning):

1. estimerar sambandet mellan trafikflöden och trafikolyckor
2. definierar de element i en trafikolycka som kan anses vara externa ur individens beslutsperspektiv
3. värderar dessa element
4. och beräknar hur kostnaderna för en olycka fördelas mellan de inblandade trafikanterna

Det finns alternativ till denna ansats (t.ex. Edlin och Karaca-Mandic, 2006). Men vi kommer att fokusera på den ansats som sammanfattas i dessa fyra punkter och beskriver i korthet vad tidigare litteratur har kommit fram till angående var och en av dessa punkter i det följande.

Sambandet mellan trafikflöden och trafikolyckor

Sambandet mellan trafikflöden och trafikolyckor har varit centralt för att motivera förekomsten av externa marginella olyckskostnader för vägtrafik; ett enkelt exempel kan förklara detta. Om en person bestämmer sig för att ta bilen från A till B kommer han att öka risken för att en kollision inträffar för alla bilister som samtidigt kör på samma väg. Hans egen risk för att vara inblandad i en kollision bestäms av antalet bilister som redan finns på vägen och det är den risken han antas beakta då han bestämmer sig för att köra mellan A och B. Därför är relationen mellan den marginella förändringen av olycksrisken för alla då trafikflödet förändras och den genomsnittliga risken (antalet olyckor per fordon), vilket alltså motsvarar den egna risken, avgörande för förekomsten av externa marginal-kostnader för trafikolyckor.

Det finns många internationellt publicerade studier av sambandet mellan trafikflöde och sannolikheten för att en olycka inträffar även om alla dessa inte har som uttalat syfte att estimera den externa marginalkostnaden för olyckor. Wang, m.fl. (2013) sammanfattar några av dessa studier i en översikt av litteraturen om trafik och vägegenskapers effekter på trafiksäkerhet. Här beskriver vi några av dessa som antingen är direkt kopplade till frågan om den externa marginalkostnaden för att en trafikolycka inträffar eller som estimerar sambandet på svenska data eller data från andra skandinaviska länder.

En mycket förenklad beskrivning av sambandet mellan det väntade antalet olyckor (N) där två bilar är involverade och trafikflöde (Q) ges av Dickerson m.fl. (2000) för fallet med homogena trafikanter, ett homogent vägnät och då alla fordon körs på ett sätt som inte påverkas av trafikflödet:

$$N = \frac{1}{2}\lambda Q^2$$

där λ är sannolikheten för att en olycka inträffar. Kvoten mellan det marginella och genomsnittliga antalet olyckor är här 2. Men λ kan i realiteten påverkas av trafikflöde, fordonsegenskaper, vägegenskaper och körbeteende. Därför har grundfrågan för en stor del av den tidigare litteraturen i detta fält handlat om hur λ påverkas av Q.

I ett tidigt bidrag till litteraturen inom detta område argumenterar Vickrey (1968) för att den marginella olycksrisken är en och en halv gånger högre än den genomsnittliga risken. Newbery (1988) noterar att Transportministeriet i England antar att den marginella olycksrisken är lika med den genomsnittliga risken vilket skulle innebära att det inte finns några externa olyckskostnader för

vägtrafik. Han föreslår en kompromiss på 1,25 mellan Vickreys 1,5 och Transportministeriets 1,0 för relationen mellan marginell och genomsnittlig olycksrisk. Variationen i dessa bedömningar beror alltså i huvudsak på hur individer anpassar sitt körbeteende när trafikflöden ökar.

Newbery (1988) noterar även att evidensen ang. sambandet mellan trafikflöden och trafikolyckor är bristfällig men sambandet har alltså undersökts i ett antal studier därefter. En tidig och mer genomarbetad statistisk analys av sambandet presenteras av Vitaliano & Held (1991) som kommer fram till att den marginella olycksrisken är nära den genomsnittliga olycksrisken och att det därför inte existerar någon relevant extern olyckskostnad. De använder årsdata över trafikflöden och trafikolyckor på 399 vägsegment i New York år 1985 och en relativt restriktiv modell (de antar t.ex. att olycks-elasticiteten är densamma över hela värdemängden för trafikflöde) för att estimera sambandet.

I ett senare bidrag undersöker Dickerson m.fl. (2000) sambandet med data för trafiken i London juli 1993 – december 1995 som kopplats till polisrapporterade olyckor under samma tidsperiod. Deras observationer baseras på automatiska mätningar från 54 mätstationer i London. För varje timme beräknar de det genomsnittliga trafikflödet och det totala antalet olyckor som inträffat på 4 olika väg-klasser (A, B, C och oklassificerade) i 2 delar av London (inre och yttre). Deras olycksdata inkluderar endast de där en personskada inträffat och deras olycksdata är inte koordinatsatta så de vet inte exakt var olyckan har inträffat. De använder en relativt flexibel modell som tillåter att olyckselasticiteten varierar mellan olika nivåer på trafikflödet i sin undersökning av sambandet. De finner en stor variation i sambandet mellan trafikolyckor och trafikflöden för de olika vägklasserna och de två geografiska områdena. De finner också en stor variation i sambandet mellan antalet olyckor och trafikflödet med stora marginaleffekter vid höga flöden. Resultaten i Dickerson m.fl. (2000) tyder på att den marginella externa olyckskostnaden är nära noll för låga till medelhöga trafikflöden men att den ökar kraftigt vid höga trafikflöden. Vare sig Dickerson m.fl. (2000) eller Vitaliano och Held (1991) beaktar dock att skadekonsekvenserna kan skilja sig åt beroende på vilka trafikanter som är involverade i olyckan eller att skadekonsekvenserna kan påverkas av trafikflödet.

Studier av sambandet på svenska data har genomförts av bl.a. Lindberg (2002) och Winslott-Hiselius (2004). Den senare av dessa anknyter kanske mer till de ovan beskrivna studierna genom att analysera hur antalet olyckor påverkas av trafikflöde medan Lindberg (2002) istället analyserar ett datamaterial där han har kopplat lastbilars körsträcka under ett år till information om inblandning i en trafikolycka under samma tid. Mer specifikt analyserar Winslott-Hiselius ett datamaterial där antalet olyckor har kopplats till mätningar av trafikflödet per timme på 83 icke-urbana vägavsnitt från år 1989 till mitten av 1995. Hon använder en modell för antal olyckor och hennes resultat pekar på vikten av att separera flöden för personbilar och lastbilar i analysen. Då dessa flöden hanteras separat i analysen tyder resultaten på att olycksrisken är konstant eller ökande då flödet av personbilar ökar. Däremot verkar ökade flöden av lastbilar minska antalet trafikolyckor – ett resultat som f.ö. ligger i linje med en del av Lindbergs (2002) resultat. Winslott-Hiselius presenterar dock inga direkta beräkningar av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor och gör heller ingen distinktion mellan olika kategorier av olyckor i termer av skadekonsekvenser.

Høye (2014) analyserar ett stort datamaterial för det statliga och kommunala vägnätet i Norge. Hon använder en uppsättning modeller för: personskadeolyckor, lätt skadade, svårt skadade och dödade (eller dödade och svårt skadade). Trafikflöde mäts i form av årsdygnsmedeltrafik och modellerna inkluderar en stor uppsättning kontrollvariabler; t.ex. för hastighetsgräns, antal körfält, och antal kurvor. Resultaten tyder på att antalet olyckor, antalet skadade och antalet dödade ökar då trafikflödet ökar men i avtagande takt. Den marginella ökningen av olycksrisken är alltså lägre än den genomsnittliga risken.

Definiering av externa kostnadselement

Om en olycka inträffar är det också väsentligt att definiera vilka kostnader som skall värderas. Lindberg (2006) föreslår en indelning i: direkta, indirekta kostnader samt värdering av säkerhet i sig

själv (se även Jansson, 1994, och Lindberg, 2001). Direkta kostnader avser t.ex. kostnader för sjukvård, rehabilitering och skador på egendom. Indirekta kostnader avser t.ex. den produktion som samhället förlorar när en person dör eller skadas i en olycka. I ASEK 5.1 sätts samhällets ”materiella” kostnader till 1,411 Mkr för ett dödsfall, 0,706 Mkr för en svårt skadad samt 0,071 Mkr för en lindrigt skadad. Dessa materiella kostnader inkluderar utöver sjukvårdskostnader, förlorat nettoproduktionsbortfall, administrationskostnader och egendomsskador (Trafikverket, 2014, kap. 9) och kan alltså användas som värde på direkta och indirekta kostnader för en olycka.

Värdering av säkerhet i sig själv avser vad individer är beredda att betala för att reducera risken att dö. Därtill kommer värderingar av att undvika svår och lätt skada. I några uppsatser föreslås även att anhörigas betalningsvilja för att undvika att en trafikant drabbas dödas/blir svårt skadad/blir lätt skadad också skall beaktas (Jansson, 1994 och Lindberg, 2001). Den senare komponenten brukar dock oftast inte tas med i beräkningar av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor bl.a. då den är relativt osäker. Därför beaktas den inte heller här.

Sammanfattningsvis använder vi här två kostnadselement som i beräkningen av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor: (*a*) betalningsviljan för att undvika ett statistiskt dödsfall/svårt skadad/lätt skadad, samt (*c*) olyckskostnader som bärs av samhället (kollektivet av skattebetalare) för dödsfall/svårt skadad/lätt skadad. Var och en av dessa varierar beroende på skadekonsekvenserna i olyckan.

Värdering

Kostnadselement *a* ovan definieras alltså för tre kategorier: dödsfall, svårt skadad respektive lindrigt skadad. Värderingsstudier brukar framför allt fokusera på betalningsviljan för att undvika ett dödsfall. Betalningsviljan för att undvika var och en av de två skadekategorierna brukar ibland beräknas med ett s.k. Bush-index där svårt skadad för svenska förhållanden har beräknats till 16,6 % av betalningsviljan för att undvika ett dödsfall (värdet på ett statistiskt liv, *VSL*). Motsvarande andel har beräknats till 0,4 % för en lindrigt skadad (Trafikverket, 2014, kap. 9). Men då det har genomförts separata studier för betalningsviljan för lindrigt skadade avviker värdet för att undvika en lindrigt skadad i Sverige från den som impliceras av Bush-indexet. I den svenska planeringen av åtgärder i transportinfrastrukturen användes 2012 värdena 23,266 MKr, 3,862 Mkr resp. 0,152 Mkr (uppräknade värden från år 2010 till år 2012). Vi använder dessa värden i denna rapport.

Vad gäller olyckskostnader som bärs av skattebetalarna avser dessa (i Sverige) i huvudsak alla sjukvårdskostnader. I ASEK 5.1 sätts samhällets ”materiella” kostnader till 1,466 Mkr för ett dödsfall, 0,734 Mkr för en svårt skadad samt 0,074 Mkr för en lindrigt skadad (uppräknade värden från år 2010 till år 2012). Dessa materiella kostnader inkluderar utöver sjukvårdskostnader, förlorat nettoproduktionsbortfall, administrationskostnader och egendomsskador (Trafikverket, 2014, kap. 9). Även om egendomsskador delvis täcks av trafikförsäkringen och därmed bör vara internaliserade till en del så använder vi dessa värden för att mäta *c*-komponenten i de kostnadselement som är relevanta för beräkningen av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor. Detta leder alltså till en mindre överskattning av den sanna externa marginalkostnaden.

Fördelning av skadekonsekvenser

Jansson (1994) betonar att det är viktigt att göra åtskillnad mellan olyckor där två lika respektive olika typer av trafikanter (t.ex. två bilister respektive en bilist och en cyklist) är inblandade. Detta beror på att olyckans skadekonsekvenser fördelas väldigt olika mellan inblandade parter i sådana olyckor. Lindberg (2001) beräknar t.ex. att 99 % av olyckskostnaderna faller på oskyddade trafikanter som är inblandade i en olycka med en personbil och en personbil bär 88 % av olyckskostnaden vid en kollision med ett tungt fordon. Detta resonemang ligger även till grund för den senare litteraturen om externa skadekostnader i samband med val av fordonsvikt (White, 2004, Lemp och Kockelman, 2008, Hultkrantz och Lindberg, 2011, Bue Bjørner m.fl., 2013, samt van Ommeren m.fl., 2013) och

Lindbergs (2002) analyser av lastbilars externa marginalkostnad för olyckor.[4] En potentiellt viktig restriktion här är att indirekta effekter av ett fordon på olyckor mellan andra fordon inte beaktas. Vi diskuterar detta i avsnitt 2.1.

2.1. Formler för beräkning av externa marginalkostnaden för trafikolyckor

Den föregående allmänna beskrivningen av hur man kan beräkna den externa marginalkostnaden för trafikolyckor (*MEC* i det följande) kan sammanfattas i några beräkningsformler vilka även ligger till grund för hur vi väljer att definiera de empiriska modellerna i denna rapport. Vi kommer att göra separata beräkningar av *MEC* för två olika fordonstyper: lätta fordon (i huvudsak personbil) respektive tunga fordon (i huvudsak lastbil med tjänstevikt över 3,5 ton). Presentationen i det följande bygger primärt på Jansson (1994) och Lindberg (2001 och 2006).

Vi antar som Jansson att flöden av personbilar (lastbilar) inte påverkar sannolikheten för en trafikolycka som bara involverar lastbilar (personbilar). Vi beskriver uttrycken för: olyckor mellan ”homogena” fordon (olyckor som involverar två eller fler fordon av samma typ) och olyckor mellan heterogena fordon (olyckor som involverar två eller fler fordon av olika typ) och singelolyckor för respektive fordonstyp. Avslutningsvis diskuterar vi indirekta effekter av ett fordon på olyckor mellan andra fordon, t.ex. att flöden av personbilar påverkar sannolikheten för att en olycka inträffar mellan en lastbil och en oskyddad trafikant.

Vi väljer att sätta ”homogen” inom citationstecken eftersom det finns en viss heterogenitet inom respektive fordonstyp (se t.ex. White, 2004, Lemp och Kockelman, 2008, Hultkrantz och Lindberg, 2011, Bue Bjørner m.fl., 2013, samt van Ommeren m.fl., 2013). Denna heterogenitet används dock inte för att beräkna *MEC* för den ”ytterligare kilometern” i denna rapport och är därför inte relevant i sammanhanget. Detta innebär inte att t.ex. fordonets tjänstevikt är irrelevant för t.ex. skadekonsekvenser för personer i det egna och andra fordonet. Men detta är en extern marginalkostnad för trafikolyckor vid val av fordonsvikt och inte för valet att köra ”ytterligare en kilometer”.

När vi analyserar olyckor mellan heterogena fordon avses inte bara fordonstyperna lätta fordon respektive tunga fordon. Olyckor mellan heterogena fordon kan även avse olyckor som involverar t.ex. en personbil och en cyklist. Men de heterogena olyckor vi analyserar avser alltid olyckor där minst ett lätt fordon eller ett tungt fordon är inblandade. Vi analyserar alltså inte olyckor mellan exempelvis en cyklist och en fotgängare. De singelolyckor vi analyserar avser också endast lätta resp. tunga fordon.

”Homogen” trafik

Samhällets väntade totalkostnad (TC^{sam}) för trafikolyckor som involverar kollisioner mellan fordon av samma typ (lätta eller tunga fordon) på vägsegment *i* (*i = 1, 2, …, I*) år *t* (*t=1, 2, …, T*) ges av

$$TC_{it}^{sam} = E(d_{it}|Q_{it})\{a_d + c_d\} + E(s_{it}|Q_{it})\{a_s + c_s\} + E(l_{it}|Q_{it})\{a_l + c_l\}$$

där *E(.)*, betecknar väntevärdet av utfallsvariablerna: antalet dödade (*d*), antalet svårt skadade (*s*), respektive antalet lindrigt skadade (*l*), Q_{it} betecknar trafikflöde för lätta eller tunga fordon, a_d betecknar betalningsviljan för att reducera risken för en dödsolycka till noll för en representativ trafikant, c_d betecknar kostnader för dödsolyckor som bärs av samhället (kollektivet av skattebetalare), a_s, c_s, a_l och c_l är motsvarande kostnader för svårt skadade respektive lindrigt skadade. Alla väntevärden på höger sida av lika-med-tecknet är normerade för längden på vägsegmentet (utryckt i kilometer)

[4] I undersökningarna av Vitaliano & Held (1991) samt Dickerson m.fl. (2000) görs ingen åtskillnad mellan olika trafikantgrupper i analysen. Vi förmodar att detta beror på att deras trafikflödesdata varken inkluderar information om flöden för oskyddade trafikanter eller att flöden för lastbilar inte separeras från flöden med bil.

Den enskilde föraren av fordon *j* (*j=1, 2, …, J*) antas beakta den del, θ_j, av den väntade olycks-kostnaden som avser riskvärderingen (*a*) och som faller på honom och eventuella passagerare i det egna fordonet när han bestämmer sig för att köra ytterligare en kilometer. Om man summerar andelarna över de lätta (tunga) fordonen på det aktuella vägsegmentet under året får man den internaliserade kostnaden för fordonstypen:

$$MC_{it}^{priv} = \frac{E(d_{it}|Q_{it})\{a_d\} + E(s_{it}|Q_{it})\{a_s\} + E(l_{it}|Q_{it})\{a_l\}}{Q_{it}}$$

Den enskilde föraren antas med andra ord inte bry sig om den väntade olyckskostnaden för andra trafikanter förutom eventuella medpassagerare i det fordon han färdas i. Antagandet att föraren beaktar skadekonsekvenser för individer i det egna fordonet motsvarar hur detta har hanterats i tidigare beräkningar av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor (jämför t.ex. Lindberg, 2001 och 2005).[5]

Samhällets väntade kostnad för denna ytterligare kilometer erhålls genom att derivera totalkostnadsfunktionen (TC^{sam}) med avseende på trafikflöde.[6] Antag följande funktionsformer för respektive betingat medelvärde:[7]

$E(k_{it}|Q_{it}) = exp(\beta_{k0} + \beta_{k1} lnQ_{it})$, för $k \in \{d, s, l\}$

Detta innebär att samhällets marginalkostnad för den ytterligare kilometern ges av:

$$MC_{it}^{sam} = \frac{\beta_{d1}}{Q_{it}} E(d_{it}|Q_{it})\{a_d + c_d\} + \frac{\beta_{s1}}{Q_{it}} E(s_{it}|Q_{it})\{a_s + c_s\} + \frac{\beta_{l1}}{Q_{it}} E(l_{it}|Q_{it})\{a_l + c_l\}$$

Den externa marginalkostnaden för trafikolyckor ges då av skillnaden mellan samhällets och individens marginalkostnad för den ytterligare kilometern.

$$\begin{aligned} MEC_{it} &= MC_{it}^{sam} - MC_{it}^{Priv} \\ &= \frac{\beta_{d1} - 1}{Q_{it}} E(d_{it}|Q_{it})\{a_d\} + \frac{\beta_{s1} - 1}{Q_{it}} E(s_{it}|Q_{it})\{a_s\} + \frac{\beta_{l1} - 1}{Q_{it}} E(l_{it}|Q_{it})\{a_l\} \\ &+ \frac{\beta_{d1}}{Q_{it}} E(d_{it}|Q_{it})\{c_d\} + \frac{\beta_{s1}}{Q_{it}} E(s_{it}|Q_{it})\{c_s\} + \frac{\beta_{l1}}{Q_{it}} E(l_{it}|Q_{it})\{c_l\} \end{aligned}$$

De första tre termerna på höger sida om det andra lika-med-tecknet i detta utryck är skillnaden mellan den marginella och genomsnittliga olyckskostnaden *om* det inte skulle finnas några motsvarande systemexterna kostnader (c_d, c_s och c_l). Om β_1^d är lika med ett så ökar det väntade antalet dödade per fordon proportionellt mot trafiken. Motsvarande gäller för β_1^s och β_1^l för antalet svårt respektive lindrigt skadade. Om dessa parametrar alla är lika med ett så begränsas alltså den externa marginalkostnaden till de tre återstående termerna på den högra sidan av det andra lika-med-tecknet.

---

[5] Det motsvarar också att föraren skulle ha en värdering för att reducera risken för ”anhöriga” där de ”anhöriga” i detta fall skulle utgöras av de andra personerna i fordonet.

[6] Detta ger alltså samhällets marginalkostnad för den ytterligare kilometern.

[7] Valet av funktionsform motiveras dels av att den är vanligt förekommande i tidigare studier, dels av att beräkningen av den externa marginalkostnaden för olyckor blir relativt enkel för denna funktionsform. I vår empiriska undersökning har vi testat andra alternativa funktionsformer genom att bl.a. använda andra transformation av trafikflödet utan att detta påverkar huvudresultaten nämnvärt (dessa resultat presenteras dock inte i denna rapport). Mer specifikt har vi i några modeller testat att använda trafikflöde per ytenhet väg (jämför med Lord .fl., 2005) samt att inkludera kvadraten på logaritmen av trafikflödet (jämför med Høye, 2014) utan att detta påverkade de estimerade externa marginalkostnaderna nämnvärt i dessa modeller. I de empiriska modellerna inkluderar vi även ett antal kontrollvariabler som också kan påverka respektive utfallsvariabels väntevärde.

Vi ser också att om t.ex. β_1^d, β_1^s och β_1^l är mindre än ett så kan den externa marginalkostnaden t.o.m. vara noll eller rentav negativ. Om de istället är större än ett så överstiger den externa marginalkostnaden den som beror på de systemexterna kostnaderna.

Heterogen trafik (t.ex. lastbil-bil-olyckor)

Samhällets väntade totalkostnad för trafikolyckor mellan trafikantkategori *y* och trafikantkategori *z* på vägsegment *i* år *t* kan skrivas som

$$TC_{it}^{sam} = \sum_{k\in\{d,s,l\}} E\left(k_{yit}\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_k + c_k\} + \sum_{k\in\{d,s,l\}} E\left(k_{zit}\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_k + c_k\}$$

där Q_{yit}, Q_{zit} betecknar trafikflöde för respektive trafikantkategori och *k* betecknar antal olycksdrabbade med utfall: *d*, *s*, eller *l*. k_{yit} betecknar alltså antalet olycksdrabbade för ett visst utfall inom trafikantkategori *y* på vägsegment *i* under år *t*. Det första summatecknet avser väntade skadekostnader för trafikantkategori *y* och det andra avser motsvarande kostnader för trafikantkategori *z*.

Som tidigare antas den individuelle föraren i kategori *y* (*z*) ta hänsyn till den del av den väntade olyckskostnaden som avser riskvärderingen (a_k) och som faller på honom och eventuella passagerare i det egna fordonet när han bestämmer sig för att köra ytterligare en kilometer, det vill säga:

$$MC_{yit}^{priv} = \frac{E\left(d_{yit}\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_d\} + E\left(s_{yit}\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_s\} + E\left(l_{yit}\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_l\}}{Q_{yit}}$$

Som tidigare ges samhällets väntade kostnad för en ytterligare kilometer av trafikantkategori *y* genom att derivera totalkostnadsfunktionen (TC^{sam}) med avseende på trafikflödet för den kategorin. Antag att funktionsformen för utfall av olyckan för kategori *y* ges av:

$$E\left(\left(k_{yit} + k_{zit}\right)\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right) = exp\left(\beta_{k0} + \beta_{k1} lnQ_{yit} + \beta_{k2} lnQ_{zit}\right)$$

Då ges samhällets marginalkostnad för trafikolyckor på vägsegment *i* år *t* mellan de två trafikantkategorierna då flödet för kategori *y* ökar av derivatan av samhällets väntade kostnad med avseende på trafikflödet för kategori *y*, d.v.s.

$$MC_{yit}^{sam} = Q_{yit}^{-1}\left\{\sum_{k\in\{d,s,l\}} \beta_{k1} E\left(k_{yit}\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_k + c_k\} + \sum_{k\in\{d,s,l\}} \beta_{k1} E\left(k_{zit}\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_k + c_k\}\right\}$$

Detta innebär att den externa marginalkostnaden kan skrivas som

$$\begin{aligned} MEC_{yit} &= MC_{yit}^{sam} - MC_{yit}^{priv} \\ &= Q_{yit}^{-1}\left\{\sum_{k\in\{d,s,l\}} \left[\beta_{k1} E\left(\left(k_{yit}\right)\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_k + c_k\} - E\left(k_{yit}\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_k\}\right.\right. \\ &\quad \left.\left. + \beta_{k1} E\left(\left(k_{zit}\right)\middle|Q_{yit},Q_{zit}\right)\{a_k + c_k\}\right]\right\} \end{aligned}$$

Vilket i huvudsak påminner om uttrycket för fallet med homogen trafik. Det som tillkommer är den sista termen som avser kostnader som faller på den andra trafikantkategorin. Denna del kan vara relativt stor då skillnader i fordonsegenskaper kan leda till att skadekostnaderna fördelas ojämnt mellan de inblandade trafikantkategorierna vilket poängteras av Jansson (1994) och Lindberg (2001).

Singelolyckor

Härledningen av formlerna för den externa marginalkostnaden för singelolyckor följer samma logik som de vi tidigare såg för ”homogen” trafik. Skälet är att vi i fallet med homogen trafik beaktar olyckor som inträffar mellan fordon inom en viss kategori, därmed blir även den del av skadekostnaden som faller på annan part i olyckan internaliserad inom kategorin.

”Indirekta” effekter på olyckor mellan andra fordon

Winslott-Hiselius (2006, sid. 991) noterar att lastbilar (tunga fordon) verkar ha en trafiksäkerhetshöjande effekt då hennes resultat tyder på att det totala antalet olyckor per vägsegment minskar med ökat flöde av lastbilar betingat på flödet av antalet personbilar (lätta fordon). Detta skulle enligt henne kunna bero på: (i) att den genomsnittliga hastigheten sjunker för alla fordon på vägen då antalet lastbilar ökar, eller (ii) förare blir mer uppmärksamma och därmed kör säkrare med ett ökat antal lastbilar på vägen, eller (iii) förares skicklighet korrelerar med flödet av lastbilar på ett sådant sätt att förarna är bättre i genomsnitt under de tidsperioder då det är många lastbilar på vägen.

Man kan även tänka sig fall där effekten på det totala antalet olyckor ökar både med antalet personbilar och antalet lastbilar. Situationer där lastbilar har en indirekt riskhöjande effekt i olycksförloppet men där lastbilen inte är en av parterna i olyckan är förstås möjliga. Det kan ju t.ex. vara så att antalet riskabla omkörningar ökar då hastigheten faller pga. fler lastbilar på vägen. Då skulle exempelvis en personbil som gör en riskabel omkörning av en lastbil kunna kollidera med en mötande motorcykel som en konsekvens av att lastbilen fanns på vägen. Vid beräkningen av lastbilars externa marginalkostnad skulle man alltså behöva undersöka *alla* olyckor på vägsegmentet – inte bara de där lastbilar är inblandade – och bedöma andelen olyckor där lastbilar är indirekt inblandade i olyckorna. Detta gäller förstås även för personbilar. Om ett fordon är indirekt inblandad i en trafikolycka är ju dessutom hela olyckskostnaden extern för fordonet. Därigenom kan den externa marginalkostnaden för olyckor där en fordonskategori är indirekt inblandad vara relativt stor.

Men tidigare beräkningar av den externa marginella olyckskostnaden för en viss fordonskategori brukar bara baseras på de olyckor där fordonskategorin är direkt involverad i olyckan. Det har även varit en utgångspunkt för presentationen tidigare i detta avsnitt. Då vi saknar information om andelen olyckor där ett lätt eller tungt fordon varit indirekt inblandade väljer vi att följa tidigare litteratur och bortser ifrån indirekta effekter i det följande.

Vi estimerar dock en uppsättning modeller för samtliga dödade/skadade per vägsegment i vilka vi inkluderar information om trafikflöden för både lätta och tunga fordon. Därigenom kan det verka upplagt att beakta indirekta effekter vid beräkningen av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor i dessa modeller. Men i inledande analyser av antalet dödade/skadade i olyckor där tunga fordon *inte* var direkt inblandade så var resultaten blandade. I vissa modeller var parametern för tunga fordon inte statistiskt skild ifrån noll och i andra var den det. Detta kan tyda på att frågan om hur man ska beakta indirekta effekter är mer komplex än vad vi kan hantera med den information som finns tillgänglig i det datamaterial som ligger till grund för våra beräkningar. Därför har vi vid beräkningen av den externa marginella olyckskostnaden för lätta respektive tunga fordon i dessa modeller valt att sätta de indirekta effekterna för lätta och tunga fordon till noll genom att basera beräkningen på det väntade antalet dödade/skadade per fordonskategori utifrån en fördelning av motsvarande totala antal. Denna fördelning baseras på observerade andelar i datamaterialet. På så sätt ingår t.ex. inte det väntade antalet dödade i olyckor mellan lätt fordon och oskyddade trafikanter i beräkningen av den externa marginella olyckskostnaden för tunga fordon i dessa modeller.

Aggregering av antal dödade, antal svårt skadade och antal lindrigt skadade i vissa modeller

Vi noterar redan här att för många av de olyckstyper vi analyserar är antalen dödade och skadade i respektive trafikantkategori (k_{yit} och k_{zit} i tidigare uttryck) för få för att kunna estimera tillräckligt

robusta samband. I dessa fall estimerar vi istället en gemensam modell för summan av antalet dödade, svårt skadade och lindrigt skadade i de inblandade trafikantkategorierna. Därefter predikteras antal dödade, svårt skadade respektive lindrigt skadade med hjälp av den estimerade modellen och observerade frekvenser (estimerade sannolikheter) för andel individer som dödats, skadats svårt respektive skadats lindrigt i respektive trafikantkategori. Dessa predikterade värden används sedan på samma sätt som tidigare för att komma fram till en beräkning av den externa marginalkostnaden. En begränsning här blir dock att vi inte tillåter trafikflöde påverka skadeutfall och vi antar att skadefördelningen mellan de olika trafikantkategorierna inte påverkas av trafikflödena.

Mer specifikt, för olyckor mellan trafikantkategorierna *y* och *z* låter vi i dessa fall

$$n_{it} = d_{yit} + s_{yit} + l_{yit} + d_{zit} + s_{zit} + l_{zit} ,$$

där *d*, *s* och *l* alltså betecknar antal dödade, svårt och lindrigt skadade, och estimerar modeller som i huvudsak ges av uttryck på formen

$$E\left(n_{it}\middle|Q_{yit}, Q_{zit}\right) = exp\left(\beta_0 + \beta_1 lnQ_{yit} + \beta_2 lnQ_{zit}\right) .$$

För att sedan estimera t.ex. det väntade antalet svårt skadade i trafikantkategori *z* använder vi

$$E\left(s_{zit}\middle|Q_{yit}, Q_{zit}\right) = p_{sz}E\left(n_{it}\middle|Q_{yit}, Q_{zit}\right)$$

där $p_{sz} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\frac{s_{zit}}{n_{it}}$ som alltså inte beror på trafikflödet för respektive kategori. För olyckor mellan homogena fordon eller singelolyckor definieras i förekommande fall modell och estimerade sannolikheter på motsvarande sätt.[8]

Den aggregerade externa marginalkostnaden per kilometer

För att komma fram till den externa marginalkostnaden per kilometer för respektive fordonskategori under ett visst år beräknar vi summan av alla externa marginalkostnaden för alla olyckstyper (*r* = 1, 2, …, *R*) och över alla vägsegment. Denna summa divideras sedan med det statliga vägnätets totala längd för det år som avses. Alltså, om *LF* betecknar lätta fordon och *TF* betecknar tunga fordon så får vi den externa marginalkostnaden för respektive fordonstyp år *t* enligt

$$MEC_t^{LF} = \sum_{r=1}^{R}\sum_{i=1}^{I} MEC_{r,i,t}^{LF}$$

$$MEC_t^{TF} = \sum_{r=1}^{R}\sum_{i=1}^{I} MEC_{r,i,t}^{TF}$$

I det avsnitt där vi beskriver data, anger vi hur vi definierat respektive olyckstyp.

[8] Eftersom rapporteringen av antalet dödade i Strada förändrades 2010 då man börjar exkludera självmord från statistiken använder vi i beräkningarna av de observerade andelarna individer som dödats, skadats svårt respektive skadats lindrigt i respektive trafikantkategori endast information från 2010, 2011, och 2012.

3. Empirisk ansats

Grundfrågan för den modell som ska mäta sambandet mellan trafikolyckor och trafikflöde är alltså: Hur påverkas väntevärdet för antalet dödsfall, svårt skadade respektive lindrigt skadade om individen väljer att köra ytterligare en kilometer? För att besvara denna fråga måste man göra något olika antaganden beroende på typ av information som används i analysen. Vi använder ett datamaterial som utgår ifrån vägsegmentet som observationsenhet. Ett antagande vi då måste göra är att fördelningen av olycksrisk mellan olika förare är desamma på alla vägsegment eftersom vi inte kan observera var olika typer av förare kör.[9]

Relaterat till frågan om individuell heterogenitet i olycksrisker är fordons icke-observerade egenskaper vilka också kan ha en effekt på skadekonsekvenser i en olycka och på sannolikheten att en olycka inträffar. De enda fordonsegenskaper vi kan beakta i analyserna är distinktionen mellan lätta och tunga fordon då informationen om trafikflöden i datamaterialet endast tillåter en sådan uppdelning.[10] Därför måste vi alltså göra samma antagande om lätta fordon respektive tunga fordons fördelning över vägnätet som vi gjorde för individer.

Det finns också vissa grundläggande begränsningar i det datamaterial vi använder vilka i möjligaste mån bör beaktas i analyserna. Tidigare undersökningar visar t.ex. att höga skadekonsekvenser (dödsfall) tenderar att ha en större sannolikhet att vara inrapporterade än t.ex. svårt skadade som i sin tur har större sannolikhet att vara inrapporterade än t.ex. lindrigt skadade (se Elvik och Mysen, 1999, för en metastudie, och Larsson och Björketun, 2008, för en undersökning av Strada som vi använder här). Vi tydliggör i detta avsnitt under vilka förutsättningar vi kan korrigera våra modeller för detta problem så att de fortfarande är informativa för att kunna estimera den externa marginalkostnaden för trafikolyckor utan systematiska skevheter.

En annan fundamental restriktion i datamaterialet är att vi bara har tillgång till trafikflöde för lätta respektive tunga fordon i termer av årsdygnsmedeltrafik (ÅDT). Detta är ett grovt mått då trafikflöde på ett vägsegment varierar både över dygnet och under året, och för en trafikolycka är det flödet omkring tidpunkten för olyckan som är relevant (Mensah och Hauer, 1998, Golob och Recker, 2003).[11] I appendix 2 utreder vi vad denna restriktion innebär för vår möjlighet att konsistent estimera den externa marginalkostnaden för trafikolyckor. Slutsatsen är att så länge variationen i trafikflöde över året inte beror på årstrafikflödet (se appendixet för förklaring) så kan vi fortfarande använda information om årstrafikflöde tillsammans med ”en vanlig maximum likelihood estimator” för att konsistent estimera elasticiteten för antal dödade och skadade med avseende på trafikflöde. Detta gäller dock för de specifika funktionsformer för det betingade väntevärdet som vi använder i denna uppsats. För mer komplexa funktionsformer är det inte säkert att detta gäller. Om variationen i trafikflöde över året beror på årstrafikflödet behöver vi dock använda någon form av instrumental-variabelansats för att slippa systematiska skevheter i våra beräkningar av den externa marginal-kostnaden för vägtrafikolyckor (se avsnitt 3.2 där vi diskuterar situationen då ÅDT är endogen i modellen och appendix 2).

Vi inleder avsnittet med att presentera hur vi ställer upp våra grundläggande modeller för sambandet mellan trafikflöde och antal dödade/skadade. Detta förenklar diskussionen av de antaganden och restriktioner som vi på olika sätt försöker hantera i känslighetstester av den grundläggande analysen.

[9] SIKA (2008) presenterar information om variation i olycksrisk mellan olika förare varierar.

[10] Vi har information om fordonsegenskaper för fordon involverade i en olycka. Men dessa behöver inte vara representativa för fordonen på vägsegmentet. Dessutom känner vi inte till fordonsegenskaper för något fordon på de vägsegment där ingen olycka inträffat.

[11] Fördelen med att använda ÅDT är dock att denna information finns för samtliga vägsegment i det statliga vägnätet under alla de år som ingår i datamaterialet och frekvensen olyckor med döda, svårt skadade eller lindrigt skadade personer är trots allt relativt ovanliga.

Vi avslutar avsnittet med att presentera modeller som på olika sätt syftar till att hantera några av de restriktioner som finns i den grundläggande analysen.

3.1. Grundläggande modeller och restriktioner för analysen av sambandet mellan trafikflöde och olyckor

En trafikolycka kan medföra att ett visst antal individer omkommer och att ett visst antal blir svårt respektive lindrigt skadade. Vi väljer att direkt modellera antalet individer för respektive skadekonsekvens (antal dödade, antal svårt skadade respektive antal lindrigt skadade) som en funktion av trafikflöde snarare än att modellera antalet olyckor (i detta avseende följer vi Høye, 2014). Utfallsvariablerna i de statistiska modellerna överensstämmer alltså direkt med den relevanta informationen i formlerna för den externa marginalkostnaden i avsnitt 2. Genom att estimera olika modeller för antal döda, svårt skadade respektive lindrigt skadade beaktar vi att ett högre trafikflöde kan ha en effekt på skadekonsekvenserna givet att en olycka inträffar.[12]

Våra grundläggande modeller för det betingade medelvärdet för antalet personer med skadeutfall k ($k \in \{\text{dödsfall}, \text{svårt skadad}, \text{lindrigt skadad}\}$) på vägsegment i år t ($i=1, 2, ..., I$ och $t=1, 2, ..., T$) ges alltså av:

$$E(k_{it}|X_{it}) = exp(X'_{it}\beta) \qquad (1)$$

där $k_{it} = 0, 1, 2, 3, ...;$ X'_{it} är en uppsättning variabler som framför allt beskriver vägegenskaper i NVDB. Vägegenskaper inkluderar *bl.a.* mått på trafikflödet på vägsegmentet: den naturliga logaritmen av årsdygnsmedeltrafiken (ÅDT) för lätta och tunga fordon. Vi multiplicerar dessa med 365 eftersom utfallsvariabeln avser olyckor under ett år eller 366 om året är ett skottår. X'_{it} inkluderar även den naturliga logaritmen av vägsegmentets längd med motsvarande parameter satt till värdet 1. Detta är alltså en form av normalisering för att få antalet olyckor per längdenhet.[13] Därutöver inkluderar vi kontrollvariabler för högsta tillåtna hastighet och den naturliga logaritmen av vägsegmentets bredd samt indikatorvariabler för vilket årtal observationerna avser.[14]

En grundfråga för räknedatamodeller är hur fördelningsfunktionen för det betingade värdet på antalet olyckor ska specificeras. Standardvarianter är Poissonfördelningen och en variant av den negativa binomialfördelningen (NB2 se Cameron & Trivedi, 2013, kapitel 3). Den första av dessa implicerar att medelvärdet ska vara lika med variansen vilket sällan är fallet i specifika tillämpningar. Då är den senare fördelningen mindre restriktiv och tillåter att variansen avviker från medelvärdet på ett specifikt sätt. Det finns ett antal olika faktorer som kan bidra till s.k. överspridning i modellen, dvs att variansen är högre än medelvärdet. Våra grundmodeller estimeras därför under antagandet att fördelningsfunktionen är NB2 vilken alltså hanterar olika källor till ”överspridning” som t.ex. kan bero på icke-observerad heterogenitet i form av utelämnade variabler som inte beror på de inkluderade variablerna i X'_{it}.

---

[12] Vi har även testat att estimera separata modeller för antal olyckor och individers skadekonsekvens i olyckan betingat på att en olycka har inträffat. Av beräkningstekniska skäl föredrar vi dock att kombinera effekterna av trafikflöde på antal olyckor och skadekonsekvens i en och samma modell. En potentiell nackdel med detta är att t.ex. fordonsegenskaper som relativa tjänstevikter och föraregenskaper som ålder och eventuell rattonykterhet inte modelleras explicit. Skälet är att vi endast har denna information då en olycka inträffar. En ytterligare fördel med den ansats vi har valt är att vi slipper modellera antal passagerare i respektive fordon. Det är ju tänkbart att även denna variabel påverkas av trafikflöde.

[13] Vägsegmentets längd hanteras som en s.k. ”offset” i analysen.

[14] För vissa olyckstyper har vi även testat att inkludera andra kontrollvariabler i grundmodellen. Detta gäller t.ex. kontrollvariabler för viltstängsel och stigningsfält utan att detta påverkade resultaten nämnvärt. Vi har även testat att interagera trafikflöde med hastighetsgräns för att få separata parameterestimat för sambandet mellan antal dödade eller skadade och trafikflöde per hastighetsgräns. Detta påverkade inte heller resultaten nämnvärt.

Vi presenterar först resultat från en modell där vi inte gör någon distinktion mellan skadeutfall och inte heller vilka trafikantkategorier som ingick i olyckan. Den beroende variabeln i dessa modeller är alltså summan av antalet dödade, svårt skadade och lindrigt skadade per vägsegment och år. Därefter estimerar vi separata modeller för antal dödade, svårt skadade respektive lindrigt skadade där vi fortfarande inte gör någon distinktion mellan vilka trafikantkategorier som ingick i olyckan. Syftet med detta är att kunna jämföra resultat från datamaterialet som används här med resultat från andra studier som har estimerat gemensamma modeller för olika typer av olyckor. Detta är även relevant för att kunna bedöma hur långt det är rimligt att disaggregera information om olyckor.

I den första uppsättningen modeller inkluderar vi trafikflöde för både lätta och tunga fordon. Eftersom vi antar att de indirekta effekterna är lika med noll vid beräkningen av den externa marginalkostnaden estimerar vi sedan separata modeller för dödade, svårt skadade, och lindrigt skadade i olyckor där lätta respektive tunga fordon varit direkt involverade. I dessa inkluderar vi endast trafikflöde för lätta respektive tunga fordon vilket alltså direkt motsvarar antagandet om att de indirekta effekterna är lika med noll.

För att tillåta en viss heterogenitet i parametervektorn (β) i ekvation (1) undersöker vi sedan olika modeller för följande ”olyckstyper” för fordonskategorierna lätta respektive tunga fordon:

(1) singelolyckor

(2) olyckor som involverar minst ett annat fordon i den egna kategorin (t.ex. olyckor mellan två personbilar)

(3) olyckor som involverar minst ett annat fordon i den andra huvudkategorin (t.ex. olyckor mellan en tung lastbil och en personbil)

(4) olyckor som involverar minst en ”oskyddad trafikant” (fotgängare, cyklist, motorcyklist, mopedist)

(5) olyckor som involverar någon form av ”terrängfordon” (traktor, motorredskap, snöskoter, terrängvagn, terrängskoter, terränghjuling, släp och ”övrigt fordon”)

(6) olyckor som involverar minst ett vilt (älg, rådjur/hjort, ren, dovhjort, kronhjort, vildsvin eller övrigt vilt)

(7) olyckor som involverar minst ett tamdjur (häst, nötkreatur övriga tamdjur och okänt djur).

Denna klassificering motiveras dels av skadekostnadernas fördelning vilka kan antas variera beroende på relativa fordonsvikter/trafikantvikter för de som är inblandade i olyckan och om olyckan avser kollision med djur eller människa, dels att sambanden mellan antal olyckor och trafikflöde förmodligen varierar mellan dessa olyckskategorier (jfr parametervektorn i ekvation 1). Det är t.ex. troligt att sambandet mellan trafikflöde och viltolyckor ser annorlunda ut än sambandet mellan trafikflöde och olyckor där två personbilar är inblandade. Inom varje olyckstyp finns det förstås en obeaktad heterogenitet i hur antalet olyckor påverkas av trafikflöde; t.ex. hur trafikflödet påverkar antalet upphinnandeolyckor respektive antalet avsvängningsolyckor. Motivet för att inte beakta ytterligare heterogenitet i olycksambandet, dvs. estimera fler parametrar för trafikflöde i ekvation 1 genom en ännu finare indelning av olyckor i olika kategorier är dels att begränsa antalet modeller, dels att olyckor är relativt ovanliga vilket innebär att man är tvungen att aggregera över vissa olika typer av olyckor för att få bättre precision i skattningarna av parametrarna (Mensah och Hauer, 1998). Detta innebär att de estimerade parametrarna i ekvation 1 avser någon form av genomsnittligt samband över olyckorna inom samma olyckstyp.

Vårt val av utfallsvariabler i ekvation (1) har vissa konsekvenser för analysen. För det första, en konsekvens att välja antal personer med en viss skadekonsekvens som utfallsvariabel betyder att antalet personer i en och samma olycka är ”klustrade” i samma olycka vilket betyder att man bör korrigera standardfelen. Men då observationsenheten är vägsegment så antar vi att ”klustringen” på olycksnivå implicit har hanterats då olyckor i sin tur oftast är ”klustrade” på vägsegment.

En annan konsekvens av att välja antal personer med viss skadekonsekvens som utfallsvariabel är att vi introducerar en form av mätfel i variabeln för trafikflöde på vägsegmentet. Orsaken är att det genomsnittliga antalet personer per fordon kan variera mellan olika vägsegment och i en modell för antalet personer som t.ex. skadats svårt är det rimligare att använda ett trafikflödesmått som baseras på antal trafikanter (individer) i en viss typ av fordon snarare än antal fordon på vägsegmentet. Om man modellerar antalet personer med viss skadekonsekvens snarare än antal olyckor som en funktion av trafikflöde och bara har information om flöde av antal fordon, så behöver man därför antingen anta att det genomsnittliga antalet personer per fordon är detsamma på samtliga vägavsnitt eller att det genomsnittliga antalet personer per fordon inte är korrelerat med trafikflöde. Det senare fallet av mätfel brukar betecknas som ett Berksonfel. Detta bidrar till överspridning i modellen och hanteras därmed genom att vi väljer en NB2 fördelning (se Appendix 1 för en mer formaliserad motivering).

Angående de centrala ”förklarande” variablerna i analyserna trafikflöde för lätta respektive tunga fordon har vi valt att endast inkludera ÅDT för den egna kategorin när vi estimerar modeller för de olika olyckstyperna 1–7. Motivet för detta är, för det första, antagandet om att de indirekta effekterna är lika med noll, dvs. trafikflöde för lätta (tunga) fordon påverkar inte sannolikheten för olyckor som inte involverar lätta (tunga) fordon. För det andra tenderar ÅDT för de två kategorierna att vara starkt korrelerade.[15] Om man inkluderar båda kan därför en del av ”effekten” av den egna kategorins trafikflöde på antalet förolyckade och skadade personer fångas upp av den andra kategorins trafikflöde utan att det behöver avspegla en kausal effekt. Den andra kategorins trafikflöde skulle alltså kunna vara ett exempel på en s.k. dålig kontrollvariabel (Angrist & Pischke, 2009, sid. 64-68). I modellen för olyckor mellan lätta och tunga fordon har vi dock valt att inkludera information om båda trafikflödena.

I modeller som specifikt avser olyckor mellan heterogena trafikantkategorier verkar det rimligt att inkludera trafikflödesmått för båda kategorierna. I modellerna för olyckor mellan tunga och lätta fordon har vi tillgång till ÅDT för båda kategorierna. Men i modeller för olyckor mellan lätta/tunga fordon och oskyddade trafikanter som bl.a. inkluderar cyklister och fotgängare så saknar vi trafikflödesmått för den senare kategorin. Därför har vi istället använt en variabel som är en form av befolkningspotential omkring varje vägsegment. Den utgörs av antalet personer (i åldern 20–64 år) som bor inom 2 kilometers avstånd från respektive vägsegment. Tanken med valet av detta avstånd är att väldigt få individer går till jobbet om sträckan är längre än 2 kilometer (se t.ex. Isacsson, 2014).[16] Variabeln är förmodligen även negativt korrelerad med förekomsten av vilda djur, större tamdjur (kor och hästar t.ex.) och förekomst av terrängfordon (t.ex. snöskotrar). Därför använder vi den även som kontrollvariabel i modellerna för sådana olyckstyper.

[15] Korrelationen mellan den naturliga logaritmen för ÅDT för lätta fordon och motsvarande variabel för tunga är 0.944.

[16] Det är även möjligt att inkludera motsvarande potentialer för antal barn i olika klasser i modellerna men de är så starkt korrelerade med motsvarande potential för vuxna att vi inte har inkluderat dem.

3.2. Utvidgade modeller och undersökningar av restriktioner för grundanalysen av sambandet mellan trafikflöde och olyckor

Icke-observerad heterogenitet

Vi noterade tidigare att utelämnade variabler som inte beror på inkluderade vägegenskaper i modellen kan leda till icke-observerad heterogenitet som genererar överspridning i modellen. Detta kan hanteras med antagandet om att fördelningen är NB2 under vissa villkor; t.ex. om denna heterogenitet (ϑ_{it}) är multiplikativ i förhållande till det betingade medelvärdet dvs.

$$E(k_{it}|X_{it}) = exp(X'_{it}\beta)\vartheta_{it} = \mu_{it}^{k}\vartheta_{it} \quad (2)$$

och $E\left(\vartheta_{it}\middle|\mu_{it}^{k}\right) = 1$, $E(\vartheta_{it}) = 1$ och $V\left(\vartheta_{it}\middle|\mu_{it}^{k}\right) = \sigma_{\vartheta}^{2}$ (Cameron & Trivedi, 2013, s. 113-115) där förklaringar av variablerna ges i anslutning till ekvation 1.

Eftersom de data över trafikolyckor vi använder karaktäriseras av ett stort antal vägsegment där ingen person dödats, skadats allvarligt eller skadats lindrigt så kan en mer flexibel modell för den icke-observerade heterogeniteten ge en bättre anpassning till data. Om vi t.ex. observerar att det inte skett en viltolycka på ett vägsegment så kan det antingen bero på att det aldrig förekommer vilt där eller att det förekommer vilt där men inget vilt blev påkört. De stokastiska processerna som genererar dessa två alternativ är förmodligen väldigt olika vilket alltså kan motivera en mer flexibel hantering av den icke-observerade heterogeniteten. Vi väljer att undersöka detta genom att anpassa en uppsättning s.k. FM-modeller (”Finite Mixture Models”) till datamaterialet. Här antas varje vägsegment tillhöra en av *C* stycken specifika populationer som karaktäriseras av *C* distinkta fördelningsfunktioner för utfallsvariabeln k_{it}. Andelarna för respektive population betecknas med π_j, (*j = 1, 2, …, C*). Detta innebär att det betingade väntevärdet för antalet individer med skadekonsekvens k_{it} kan skrivas som

$$E(k_{it}|X_{it}) = \sum_{j=1}^{C} \pi_j exp\left(X'_{it}\beta_j\right) \quad (3)$$

Här antar vi alltså *inte* att vissa vägsegment *aldrig* kan generera en viss typ av olycka, däremot tillåter vi att sannolikheterna för en olycka inte bara beror på variation i variablerna i X'_{it} och att sannolikheterna för en olycka kan vara väldigt små för vissa grupper av vägsegment. Vi använder genomgående *C*=2.Vi lägger också på restriktionen att parametrarna för alla kontrollvariabler är desamma i de olika populationerna. Det är med andra ord bara intercept och parametrar för trafikflöde som tillåts variera mellan de två populationerna. Eftersom detta är ett sätt att hantera icke-observerad heterogenitet så antar vi fördelningen i båda populationerna är Poisson. Detta gör att estimeringen av var och en av modellerna går något snabbare och maximum likelihood estimatorn för parametrarna är fortfarande konsistent så länge funktionsformen för det betingade väntevärdet är korrekt specificerad.

Underrapportering av olyckor

Ett annat problem som vi nämnde tidigare är att data över trafikskador lider av en form av under-rapportering där graden av underrapportering varierar med skadenivå. Vi antar att sannolikheten för att en individ med skadekonsekvens k_{it} faktiskt inrapporterats är p_k för alla individer. Detta gör att det betingade väntevärdet för det observerade (inrapporterade) antalet individer med skadekonsekvens k_{it}^{obs} ges av:

$$E\left(k_{it}^{obs}\middle|X_{it}\right) = E(k_{it}|X_{it})p_k = exp(X'_{it}\beta)p_k = exp\left(X'_{it}\tilde{\beta}\right) \quad (4)$$

där $\tilde{\beta} = (\beta_0 + lnp_k, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$, *m* är antalet variabler i X'_{it} och β_0 är interceptet i modellen. Vi ser alltså att underrapportering under vårt antagande endast leder till att den naturliga logaritmen av sannolikheten för inrapporteringen fångas upp av det intercept vi estimerar samtidigt som estimaten för övriga parametrar inte påverkas (Cameron och Trivedi, 2013, sid 492). Men eftersom $E(k_{it}|X_{it})$ ingår i formlerna för beräkningen av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor så måste vi subtrahera lnp_k från det skattade interceptet i modellen eller helt enkelt dividera det skattade

väntevärdet med p_k för att få en väntevärdesriktig skattning av $E(k_{it}|X_{it})$. Vi hämtar värden för p_k från Larsson och Björketun (2008) (se avsnitt 4 för mer information).

ÅDT en endogen variabel i olycksmodellerna vid internalisering

En viktig restriktion i de grundläggande modellerna är att vi antar att trafikflöde är exogent bestämt i förhållande till antal olyckor. Detta är dock inkonsistent med modellen där individer antas internalisera den väntade kostnaden för genomsnittlig olycksrisk när man fattar beslut om hur många kilometer man ska köra. I en sådan modell är trafikflödet endogent i förhållande till antal olyckor. I en modell där man antar att individer *inte* internaliserar några olyckskostnader verkar det dock rimligare att anta att trafikflöde är exogent i modellen för antal olyckor. En sådan modell skulle t.ex. kunna motiveras av att man tror risken att man själv ska råka ut för en trafikolycka är obefintlig eller avsevärt lägre än vad den genomsnittliga risken är (Weinstein, 1984).[17]

För att undersöka hur restriktivt antagandet om ingen internalisering är för våra modeller av antal dödade och skadade behövs åtminstone en variabel som bara påverkar trafikflöde men som inte direkt påverkar antal döda och skadade i transportsystemet (en instrumentalvariabel). Variabeln ska alltså bara ha en indirekt effekt på antal dödade och skadade. För detta ändamål använder vi den tidigare beskrivna variabeln för befolkningspotential som används som proxyvariabel för oskyddade trafikanters ”trafikflöde” i modellerna för olyckor mellan lätta/tunga fordon och oskyddade trafikanter. Motivet är att vi redan antagit att den inte har en direkt effekt på antal dödade och skadade i singelolyckor, olyckor mellan homogena fordon och olyckor mellan lätta och tunga fordon. Men den kan alltså ha en indirekt effekt genom att trafikflöde troligen påverkas av hur många individer som finns omkring vägsegmentet. Man kanske skulle kunna hävda att antalet människor omkring en väg påverkar utformningen av vägen. Detta kanske är sant för övergångsställen o.d. Men vi utgår i övrigt ifrån att det är trafikflödet som påverkar dimensionering och utformning av vägen och att människor omkring vägen alltså genererar trafikflödet.

Vi väntar oss också att graden av internalisering påverkas av hur stor andel av skadekostnaden som faller på individen. Detta innebär att antagandet om att trafikflöde är exogent verkar rimligare för tunga fordon än för lätta fordon generellt sett. För lätta fordon är det rimligt att testa antagandet om ingen internalisering på sådana olyckstyper där en relativt stor andel av skadekostnaden faller på individen själv.

Detta innebär att vi använder befolkningspotential som instrumentalvariabel i modellerna för lätta fordon: singelolyckor, olyckor mellan homogena fordon och olyckor med tunga fordon. Vi antar alltså att befolkningspotential inte har en direkt effekt på antal dödade, svårt skadade respektive lindrigt skadade utan bara påverkar indirekt genom en effekt på trafikflöde. Mer specifikt antar vi att modellen för antal individer med en viss skadekonsekvens ges av

$$E(k_{it}|W_{it}, Q_{it}) = exp(W'_{it}\gamma + \delta lnQ_{it} + u_{1it}) \quad (5)$$

där $(W'_{it}, lnQ_{it}) = X'_{it}$ i tidigare modeller och

$$lnQ_{it} = W'_{it}\theta + \alpha lnP_{it} + u_{2it} \quad (6)$$

där P_{it} betecknar befolkningspotential och

[17] I en mer generell diskussion av detta problem noterar Elvik (2014) t.ex. att sökandet efter en estimator av exponering (t.ex. ÅDT) som är oberoende av risk är missriktat eftersom exponering i detta sammanhang involverar mänskligt beteende och inlärning. Det kan enligt honom vara fruktbart att tänka på exponering i termer av ”händelser” som ställer krav på trafikantens kognition och som kan leda till en olycka. Elvik (2014) diskuterar hur sammanfattande mått som ÅDT kan översättas till händelser beroende på vilken typ av väg mätningen avser.

$$u_{1it} = \rho u_{2it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

där ε_{it} antas vara oberoende av u_{2it}. Vi skattar ekvation (6) i ett första steg med minsta-kvadrat-metod (OLS) och inkluderar i ett andra steg residualerna från denna modell som kontrollvariabel i ekvation (5). Om parametern för dessa residualer i (5) är signifikant skild ifrån noll så förkastar vi modellen ”olyckor händer inte mig”; dvs. trafikflöde är inte exogent i förhållande till antal olyckor (se Cameron och Trivedi, 2013, sid 401–402, se även Bhat, m.fl., 2014).[18] Om detta är fallet så får vi en indikation på om parametern för trafikflöde i de modeller där vi inte kan använda befolkningspotential som instrumentalvariabel över- eller underskattar den sanna parametern.

[18] För inferens använder vi robusta skattningar av standardfelen för parametrarna i modellen.

4. Data

Den officiella statistiken om skador i vägtrafiken är baserad på de olyckor som polisen får kännedom om. Statistiken är rikstäckande och olycksuppgifter från polisen har samlats in sedan 2003 och förs in i systemet Strada. Databasen innehåller detaljerade uppgifter om olyckor, såsom vilken typ av olycka som inträffat, hur många som skadades eller dödades, på vilken typ av väg olyckan inträffade, hur många och vilka objekt (bilar, bussar, lastbilar etc.) som var inblandade, väderförhållande, datum, tid etc.

Strada är GIS-baserat vilket innebär att vi genom koordinatuppgifter har information om var respektive olycka har inträffat. Vi kombinerar informationen i Strada med information från NVDB, där detaljerad information om vägnätet finns, såsom hastighetsbegränsningar, vägbredd, vägtyp, förekomst av kantstolpar m.m. Vi har tillgång till årsvisa data från NVDB mellan 2004 och 2012. Vi har även tillgång till data för 2013 men väljer i analyserna att inte använda information från detta år då informationen i Strada inte täcker hela året. I denna rapport begränsar vi oss till det statliga vägnätet eftersom mätningar av årsdygnsmedeltrafik på det kommunala vägnätet är ofullständigt. NVDB är liksom Strada GIS-baserad och vi har kopplat samman de två databaserna i två steg. I steg ett länkar vi koordinatuppgiften i Strada till den närmsta koordinaten i NVDB. [19] Eftersom olyckor i Strada inte är begränsade till det statliga vägnätet använder vi i steg två information om vägnummer och vägtyp i Strada för att identifiera olyckor som inträffat på statlig väg och inkluderar bara observationer som hör till det statliga vägnätet i datamaterialet som vi analyserar. För att få en bild av hur nära koordinat-uppgiften i Strada kommer motsvarande uppgift i NVDB genom denna metod, kan som exempel nämnas att avståndet mellan dem i genomsnitt är 14 meter år 2013 (medianen är 6,5 meter) och för den 99:e percentilen är avståndet ca 74 meter.

Eftersom denna rapport syftar till att beräkna den externa marginalkostnaden för lätta och tunga fordon, väljer vi ut alla olyckor där åtminstone en personbil, lätt lastbil, buss, tung lastbil eller oklassificerad typ av lastbil var inblandad. Vi definierar därefter dessa olyckor som tillhörande en av två huvudkategorier enligt följande: olyckor med ”lätta fordon” (personbilar, lätta lastbilar och oklassificerade lastbilar), samt olyckor med ”tunga fordon” (buss och tung lastbil).[20] Denna klassificering motiveras av att ÅDT-mätningarna i NVDB avser lätta (personbil, lätt lastbil och motorcykel) resp. tunga fordon (tunga lastbilar och bussar).[21] Därefter delar vi upp dessa huvudkategorier efter vilken typ av annat fordon som var inblandat i olyckan och identifierar 7 stycken olyckstyper för lätta respektive tunga fordon (se avsnitt 3.1).[22] Vi inkluderar bl.a. inte olyckor mellan lätta/tunga fordon och tåg eller spårvagn.

Den centrala variabeln ifrån NVDB för våra beräkningar är ÅDT. Information om ÅDT i NVDB för ett visst år, t.ex. 2012, avser faktiskt uppmätt trafikflöde för ett litet antal vägsegment under det året.

---

[19] Varje vägsegment (vägpost) i NVDB representeras av ett antal olika koordinater i s.k. shape-filer. Vi har alltså länkat Strada till den närmaste koordinaten av alla dessa koordinater.

[20] Motivet för att inkludera ”oklassificerade lastbilar” bland de ”lätta fordonen” var att andelen ”oklassificerade lastbilar” med en totalvikt under 3,5 ton var hög. I övrigt väljer vi dock att utgå ifrån informationen i Strada om fordonstyp utan att involvera totalvikt. I vissa fall verkar dock information om totalvikt inte stämma överens med information om fordonstyp. Detta skulle kunna tyda på att vissa fordon som klassificerats som t.ex. tung lastbil egentligen är en lätt lastbil, eller så kan det tyda på ett mätfel i informationen om totalvikt.

[21] Enligt uppgift i Nerhagen m.fl. (2015, sid. 29, fotnot 27) är ÅDT för ”lätta fordon” definierade som fordon med ett första axelavstånd om max 3,3 och ÅDT för ”tunga fordon” är fordon där första axelavstånd överstiger 3,3 meter.

[22] Vårt sätt att identifiera olyckstyper medför att ett litet antal olyckor dubbelräknas. En olycka mellan t.ex. en cyklist, personbil och tung lastbil räknas både som en olycka mellan ett lätt fordon och oskyddad trafikant och en olycka mellan ett tungt fordon och oskyddad trafikant. Detta gäller dock så få olyckor att vi valt att bortse från denna dubbelräkning.

Därför består de data vi använder huvudsakligen av imputerade (beräknade) värden för ÅDT där ett faktiskt mätvärde under något år; t.ex. 2010, omvandlas till ett imputerat värde för 2012 med hjälp av omräkningsfaktorer (trafikarbetsförändringsfaktorer) som beror på fordonsklass (personbil/lastbil) och vägtyp (Europavägar, Övriga Riksvägar, Primär länsvägar, och Övriga länsvägar). Det ”proxyfel” som följer av att använda imputerade värden på trafikflöde behöver inte i sig vara problematiska i våra modeller vilket diskuterats i avsnitt 3.[23]

Vi använder alltså data för åren 2004–2012 för att estimera modellerna i avsnitt 3. Modellerna tillämpas därefter för 2012 för att beräkna den externa marginalkostnaden för trafikolyckor det året. Vi exkluderar observationer där: (1) uppgift om hastighetsgräns är under 30 km/tim eller över 120 km/tim, (2) vägbredd är noll meter. För det fåtal observationer som saknar information om ÅDT för antingen lätta eller tunga fordon imputerar vi motsvarande trafikflödesuppgift från en estimerad modell som relaterar ÅDT till uppgifter om hastighetsgräns, vägtyp, slitlager, längd och bredd på väg-segmentet samt år. Vi gör motsvarande imputering för observationer som saknar information om befolkningspotential. Vi korrigerar dock inte standardfelen i modellerna för att vi använder dessa imputerade värden då det handlar om ett relativt litet antal observationer. Om ÅDT ändå saknas, dvs. om någon av variablerna som ligger i imputeringsmodellen saknas, exkluderas den observationen från beräkningen. Eftersom vi ytterst är ute efter att beräkna den externa marginalkostnaden per kilometer, så innebär detta att vi måste anta att den saknade andelen av den summerade externa marginalkost-naden som vi saknar information har samma proportion som dessa observationers andel av det statliga vägnätet. Då det handlar om ett litet antal observationer är detta antagande sannolikt inte restriktivt.

Tabell 1 presenterar beskrivande statistik för datamaterialet. Här redovisas totalt antal dödade, svårt respektive lindrigt skadade per år tillsammans med uppgift om trafikarbete på det statliga vägnätet. Restriktioner på datamaterialet gör att ett litet antal olyckor under perioden 2004–2012 exkluderas från redovisningen (se diskussion i föregående stycke). År 2010 förändrades rapporteringen av antal döda i Strada genom att självmord inte ingår i statistiken (Trafikanalys, 2013).[24] Vi ser också att det verkar ske en viss nedgång i antalet svårt skadade i olyckor som involverar ett lätt fordon mellan 2004 och 2012 medan motsvarande antal lindrigt skadade stiger något. Vi ser också att trafikarbetet ökar för både lätta och tunga fordon under perioden.[25]

Tabell 1a. Lätta fordon.

År (2000-tal)	***04***	***05***	***06***	***07***	***08***	***09***	***10***	***11***	***12***
Dödade	274	255	252	253	237	241	164	183	180
Svårt skadade	1855	1793	1725	1681	1776	1948	1544	1570	1574
Lindrigt skadade	8647	8571	8697	9069	9918	11406	10667	9944	10452
10-tals Mfkm	4720	4779	4947	5094	5047	5072	5022	5115	5112

Not: Fr.o.m. 2010 ingår inte självmord bland antal dödade (Trafikanalys, 2013).

[23] Detta gäller dock framför allt då vi estimerar modellerna med tvärsnittsinformationen i datamaterialet där man använder nivåer på trafikflöde. Vi gissar att det skulle vara mer problematiskt att utnyttja någon form av longitudinell variation (förändring i trafikflöde mellan olika år) för att estimera modellerna med dessa data.

[24] Denna förändring av statistiken kommer att fångas upp av indikatorvariabler för årtal i resp. olycksmodell.

[25] Summan för totala trafikarbetet (summan av miljoner fkm för både lätta och tunga fordon) 2011 (57 950 milj. fkm) kan jämföras mot uppgift från TrV som säger att det året var 56 077 milj. fkm för det statliga vägnätet (Trafikverket 2014, sid. X). Vi har till skillnad från TrV räknat fram trafikuppgifter för respektive mätår till 2011 vilket sannolikt förklarar en del av skillnaden.

Tabell 1b. Tunga fordon.

År (2000-tal)	***04***	***05***	***06***	***07***	***08***	***09***	***10***	***11***	***12***
Dödade	50	44	87	62	62	53	46	53	50
Svårt skadade	177	167	196	156	139	163	213	137	181
Lindrigt skadade	728	850	1027	871	857	917	1168	1002	969
10-tals Mfkm	535	570	606	642	643	620	661	680	679

Not: Fr.o.m. 2010 ingår inte självmord bland antal dödade (Trafikanalys, 2013).

I Tabell 2 redovisar antalet vägsegment där det rapporterats: en dödad, en svårt skadad respektive en lindrigt skadad, två dödade, två svårt skadade, två lindrigt skadade osv. under perioden 2004–2012. Redovisningen görs för olyckor som involverar lätta respektive tunga fordon. Vi ser t.ex. att på 1 641 vägsegment så dödades en person i olycka som involverade lätt fordon. Syftet med tabellen är att ge en bild av fördelningen av antalet vägsegment per antal för respektive skadeutfall. Notera att för det största antalet vägsegment har det inte skett någon olycka alls. Dessa ingår dock inte i tabellen.

Tabell 2. Antal observationer (vägsegment) per värde för antal dödade, svårt skadade, lindrigt skadade (åren 2004-2012).

Fordon	***Lätta***			***Tunga***		
	Dödade	*Svårt skadade*	*Lindrigt skadade*	*Dödade*	*Svårt skadade*	*Lindrigt skadade*
Antal=1	1641	9224	39143	391	982	4298
Antal=2	144	1651	10119	34	142	898
Antal=3	25	498	3753	8	43	242
Antal=4	5	175	1737	1	15	104
Antal=5	3	70	820	1	3	48
Antal=6	0	30	287	1	2	20
Antal=7	0	15	161	0	2	13
Antal=8	0	4	94	0	0	1
Antal=9	0	3	53	1	1	4
Antal=10	0	4	35	0	0	8
Antal=11	0	0	23	0	0	1
Antal=12	0	1	19	0	0	3
Antal=13	0	0	11	0	0	2
Antal=14	0	0	3	0	0	2
Antal=15	0	0	6	0	0	4

Fordon	*Lätta*			*Tunga*		
Antal=16	0	0	2	0	0	4
Antal=17	0	0	1	0	0	1
Antal=18 eller fler	0	0	18	0	1	12
Tot. antal obs.	4 269 332			4 269 332		

Not: Antal dödade, svårt skadade eller lindrigt skadade är inte ”toppkodade” i analyserna vid antal=18 även om det kan verka så från tabellen.

Tabell 3. Beskrivande statistik vägsegment, medelvärden och standardavvikelser, åren 2004–2012.

	Medelvärde	***Standardavvikelse***
ÅDT, Lätta	1582,981	3095,813
ÅDT, Tunga	176,654	363,781
Befolkningspotential	884,899	3124,025
Längd (kilometer)	0,219	0,338
Bredd (meter)	6,419	2,157
Max hast 30-40	0,013	0,114
Max hast 50-60	0,200	0,400
Max hast 70	0,540	0,498
Max hast 80-90	0,185	0,388
Max hast 100	0,022	0,148
Max hast 110-120	0,039	0,194
Antal observationer	4 269 332	

I Tabell 3 redovisas beskrivande statistik för den information från NVDB som vi huvudsakligen använder. Här ser vi bl.a. att ÅDT för lätta fordon är ca nio gånger så högt i genomsnitt som ÅDT för tunga fordon. Vi ser också att huvuddelen av observationerna avser vägsegment där den högsta tillåtna hastigheten är 70 km/tim.

I tabell 4a ser vi att det är relativt få observationer vilket gör det svårt att kunna estimera separata modeller för skadekonsekvens i respektive trafikantkategori för olyckstyperna 3, 4, 5, 6 och 7.[26] Vi väljer därför att aggregera antal dödade, svårt skadade och lindrigt skadade i båda trafikant-kategorierna i en gemensam modell för olyckstyp 3, en gemensam modell för olyckstyp 4, och en

[26] Vi testade att estimera separata modeller för olyckstyp 3 men resultaten blev svåra att tolka och valde därför att aggregera på det sätt som beskrivs i avsnitt 3.

gemensam modell för olyckstyperna 5 och 7 på det sätt som beskrivs i avsnitt 3. För olyckstyp 6 väljer vi att aggregera över antalen för respektive skadekonsekvens i den statistiska modellen.

Även i tabell 4b ser vi att det är relativt få observationer för att kunna estimera separata modeller för skadekonsekvens för olyckstyperna 1 och 2. Detta gäller även motsvarande modeller för respektive trafikantkategori för olyckstyperna 3, 4, 5, 6 och 7.[27] Detta gör att vi behöver aggregera antal med olika skadekonsekvens på det sätt som beskrivs i avsnitt 3. Vi väljer därför att aggregera antal dödade, svårt skadade och lindrigt skadade i modell 1 respektive i modell 2. Vi väljer även att aggregera antal dödade, svårt skadade och lindrigt skadade i en gemensam modell för båda trafikantkategorierna i olyckstyp 3. Vi väljer även att aggregera antal döda, svårt skadade och lindrigt skadade i en gemensam modell för båda trafikantkategorierna i olyckstyperna 5, 6 och 7.

Tabell 4a. Antal dödade, svårt skadade, lindrigt skadade efter olyckstyp och inblandade ”fordon” – olyckor avseende lätta fordon (åren 2004–2012).

	I lätt fordon			***I annat ”fordon”***		
Olyckstyp[(a)]	*Dödade*	*Svårt skadade*	*Lindrigt skadade*	*Dödade*	*Svårt skadade*	*Lindrigt skadade*
1	728	6756	34399	-	-	-
2	525	5419	38429	-	-	-
3	372	926	4613	7	85	932
4	4	95	794	333	1464	3614
5	17	113	602	4	37	177
6	47	548	3668	-	-	-
7	2	16	132	0	7	11
Summa	1695	13873	82637	344	1593	4734

Noter: (a) Olyckstyperna är numrerade enligt följande: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon, (3) olyckor med tunga fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med ”terrängfordon”, (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur.

Tabell 4b. Antal dödade, svårt skadade, lindrigt skadade efter olyckstyp och inblandade ”fordon” – olyckor avseende tunga fordon (åren 2004-2012)

	I tungt fordon			***I annat ”fordon”***		
Olyckstyp[(a)]	*Dödade*	*Svårt skadade*	*Lindrigt skadade*	*Dödade*	*Svårt skadade*	*Lindrigt skadade*
1	41	295	1917	-	-	-
2	16	95	531	-	-	-
3	7	85	932	372	926	4613

[27] Vi testade att estimera separata modeller för olyckstyp 3 men resultaten blev svåra att tolka och valde därför att aggregera på det sätt som beskrivs i avsnitt 3.

	I tungt fordon			*I annat ”fordon”*		
4	0	4	28	68	107	228
5	0	7	81	3	7	27
6	0	3	29	-	-	-
7	0	0	1	0	0	2
Summa	64	489	3519	443	1040	4870

Noter: (a) Olyckstyperna är numrerade enligt följande: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon, (3) olyckor med lätta fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med ”terrängfordon”, (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur.

I Tabellerna 5 och 6 översätter vi informationen i Tabell 4 till riskvärdeskostnader (som avser kostnadsberäkningar baserade på betalningsviljan för att undvika ett statistiskt dödsfall/svårt skadad/lindrigt skadad) respektive systemexterna kostnader för lätta respektive tunga fordon. För riskvärdeskostnaderna rapporterar vi även andel av kostnaden som faller på lätt fordon (lf) respektive tungt fordon (tf) för var och en av de sju olyckstyperna. Detta motsvarar parametern θ i Lindberg (2002 och 2006). Generellt sett är beräkningarna av parametern här väldigt snarlika de som Lindberg rapporterar.

Tabell 5a. Lätta fordon totala riskvärdeskostnader, miljoner kronor (åren 2004–2012).

	I lätt fordon	***I annat ”fordon”***	***Andel av kostnad i lf***
Olyckstyp[(a)]	*Totalkostnad (Mkr)*	*Totalkostnad (Mkr)*	*(Lindbergs θ)*
1	48258	0	1
2	38984	0	1
3	12932	633	0,95
4	581	13951	0,04
5	923	263	0,78
6	3767	0	1
7	128	29	0,82
Summa	105574	14875	0,88

Noter: (a) Olyckstyperna är numrerade enligt följande: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon, (3) olyckor med tunga och lätta fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med ”terrängfordon”, (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur

Tabell 5b. Tunga fordon totala riskvärdeskostnader, miljoner kronor (åren 2004–2012).

	I tungt fordon	***I annat "fordon"***	***Andel av kostnad i tf***
Olyckstyp[(a)]	*Totalkostnad (Mkr)*	*Totalkostnad (Mkr)*	*(Lindbergs θ)*
1	2385	0	1
2	820	0	1
3	633	12932	0,05
4	20	2030	0,01
5	39	101	0,28
6	16	0	1
7	0	0	0,33[(b)]
Summa	3912	15063	0,21

Noter: (a) Olyckstyperna är numrerade enligt följande: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon, (3) olyckor med tunga och lätta fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med "terrängfordon", (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur. (b) Totalkostnader för olyckstyp 7 är inte strikt lika med noll utan har avrundats till noll i tabellen men andelen beräknas på icke-avrundade siffror därför är den möjlig att beräkna.

Tabell 6a. Lätta fordon totala systemexterna kostnader, miljoner kronor (åren 2004–2012).

	I lätt fordon	***I annat "fordon"***
Olyckstyp[(a)]	*Totalkostnad (Mkr)*	*Totalkostnad (Mkr)*
1	8572	0
2	7590	0
3	1566	142
4	134	1830
5	152	46
6	743	0
7	24	6
Summa	18783	2024

Noter: (a) Olyckstyperna är numrerade enligt följande: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon, (3) olyckor med tunga och lätta fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med "terrängfordon", (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur.

Tabell 6b. Tunga fordon totala systemexterna kostnader, miljoner kronor (åren 2004-2012)

	I tungt fordon	***I annat "fordon"***
Olyckstyp[(a)]	*Totalkostnad (Mkr)*	*Totalkostnad (Mkr)*
1	418	0
2	132	0
3	142	1566
4	5	195
5	11	11
6	4	0
7	0	0
Summa	713	1773

Noter: (a) Olyckstyperna är numrerade enligt följande: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon, (3) olyckor med tunga och lätta fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med "terrängfordon", (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur.

Vi noterar också att årsgenomsnitt för informationen i tabellerna 5a, 5b, 6a, 6b är 18 miljarder kronor vilket kan jämföras de 21 miljarder Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) beräknat att vägtrafikolyckorna kostade år 2005 (se inledningen). Skillnad kan delvis bero på förändrar rapportering av självmord 2010 se tabellerna 1a och 1b.

Eftersom polisen inte får kännedom om alla trafikolyckor är bortfall ett potentiellt problem i vår analys (se avsnitt 3 för en diskussion). Larsson och Björketun (2008) presenterar skattningar av hur stora bortfall som finns bland de polisrapporterade olyckorna i Strada genom att även beakta antalet sjukhusrapporterade olyckor för att ta fram det totala antalet personer som blivit svårt skadade respektive lindrigt skadade. Därigenom kan de estimera uppräkningsfaktorer för svårt skadade och lindrigt skadade i de polisrapporterade olyckorna i Strada. Alla dödsfall i trafiken ingår i princip i de polisrapporterade olyckorna i Strada därför korrigerar vi inte för underrapportering i modellerna för antal dödade. De relevanta olycksgrupperna i Larsson och Björketun (2008) för vår tillämpning är:

(1) "motorfordonsolycka med bara motordrivna fordon, ett eller flera, inblandade"

(2) "kollision mellan motordrivet fordon och moped/cyklist/fotgängare"

(3) "kollision mellan motordrivet fordon och djur (vilt eller tamt)".

Vi antar att olycksgrupp (1) motsvarar de "olyckstyper" vi givit nummer: 1, 2, 3, eller 5 (se t.ex. noter till Tabell 6). Vi antar vidare att olycksgrupp (2) motsvarar "olyckstyp" 4 och att olycksgrupp (3) motsvarar "olyckstyperna" 6 och 7. Vi utgår ifrån uppräkningsfaktorerna för svårt respektive lindrigt skadade för bebyggelsetypen "ej tätort" i tabellerna 5 och 6 i Larsson och Björketun (2008) och använder ett viktat genomsnitt av deras uppräkningsfaktorer för kollision mellan motordrivet fordon

och moped, cyklist respektive fotgängare.[28] Inversen på dessa uppräkningsfaktorer ger oss våra skattningar av sannolikheter för inrapportering vilka diskuterades i avsnitt 3. Vi använder samma skattade sannolikheter för lätta och tunga fordon och antar att samtliga dödsfall är inrapporterade. Tabell 7 presenterar de skattade sannolikheterna för inrapportering av svårt respektive lindrigt skadade vilka vi använder för att korrigera beräkningarna av den externa marginalkostnaden för trafikolyckor:

Tabell 7. Sannolikheter för inrapportering av svårt respektive lindrigt skadade

Olyckstyp	***Svårt skadade***	***Lindrigt skadade***
1	0,84	0,63
2	0,84	0,63
3	0,84	0,63
4	0,81	0,54
5	0,84	0,63
6	0,88	0,61
7	0,88	0,61

Noter: Egna bearbetningar av tabellerna 5 och 6 i Larsson och Björketun (2008). Olyckstyperna är numrerade enligt följande: (1) singelolyckor (lätta/tunga fordon), (2) olyckor med homogena fordon (lätta/tunga fordon), (3) olyckor med tunga och lätta fordon, (4) olyckor med lätta/tunga fordon och oskyddade trafikanter, (5) olyckor med lätta/tunga fordon och ”terrängfordon”, (6) olyckor med lätta/tunga fordon och vilt, (7) olyckor med lätta/tunga fordon och tamdjur.

[28] Motivet för detta är att deras definition av tätort skiljer sig åt från information om tätort i NVDB samtidigt som huvuddelen av det statliga vägnätet ligger utanför tätort. Detta gör att vi använder något högre uppräkningsfaktorer än de som gäller för båda bebyggelsetyperna (”tätort” och ”ej tätort”).

5. Resultat

Vi inleder presentationen av resultat med ett antal modeller där vi aggregerat alla dödsfall, svårt skadade och lindrigt skadade över alla typer av olyckor och för varje vägsegment och år. Syftet med detta är att undersöka hur resultat från data vi använder relaterar till studier som aggregerar utfallsvariablerna över olika typer av olyckor och olika skadekonsekvenser. Vi ser i den första kolumnen i Tabell 8a att olyckselasticiteten för lätta fordon är över ett och att olyckselasticiteten för tunga fordon är negativ. Winslott-Hiselius (2004) presenterar kvalitativt sett samma resultat och föreslår att detta tyder på att tunga fordon har en säkerhetshöjande effekt.[29] Den externa marginalkostnaden för lätta fordon är i den första modellen 17 öre per kilometer och -24 öre för tunga fordon. Här har vi dock inte använt några kontrollvariabler alls för vägegenskaper. Därför bör man inte fästa någon större vikt vid dessa externa marginalkostnader. Modellen är bara till för att relatera till den tidigare svenska studien av Winslott-Hiselius som framför allt lyfter fram betydelsen av att separera trafikflöden för lätta fordon från trafikflöden för tunga fordon i modellen.

När vi lägger till kontrollvariabler för maximal hastighet är olyckselasticiteten för lätta fordon lägre samtidigt som den är högre för tunga fordon (kolumn 2).[30] De estimerade externa marginalkostnaderna förändras på motsvarande sätt och blir nu för lätta och tunga fordon 7 öre per kilometer respektive -7 öre per kilometer. I de sista kolumnerna presenteras motsvarande resultat för en FM-modell som alltså även beaktar viss icke-observerad heterogenitet. Här blir de estimerade marginalkostnader negativa för lätta och tunga fordon: 0 öre respektive -11 öre per kilometer.

Den relativt stora variationen i resultat mellan modellerna i Tabell 8a tyder på att både observerad och icke-observerad heterogenitet bidrar till variationen.[31] Genom att estimera mer disaggregerade modeller i det följande minskar förmodligen betydelsen av detta. I Tabell 8b har vi därför estimerat separata modeller för antal dödade, svårt skadade och lindrigt skadade. Här finner vi i likhet med Høye (2014) att lätta fordon trafikflöde har en effekt på utfallsvariabeln som är högre i modellen för skadade än i modellen för dödade. För tunga fordon är effekten generellt sett låg men verkar vara något högre i modellen för antal dödade än i modellerna för skadade. Vi ser också att den externa marginalkostnaden är -3 öre per kilometer för lätta fordon och 1 öre per kilometer för tunga fordon. Vi vill dock understryka att när vi beräknar *MEC* i både tabell 8a och tabell 8b så antar vi att den indirekta effekten är noll. Samtidigt låter vi trafikflöde för lätta (tunga) fordon implicit ha en effekt på olyckor som bara involverar tunga (lätta) fordon genom att inkludera flödet för lätta (tunga) fordon i var och en av modellerna. Detta verkar logiskt inkonsistent men som vi noterade saknar vi information om i vilken utsträckning fordon är indirekt involverade och därför avstår vi ifrån att beakta indirekta effekter vid beräkningen av den externa marginalkostnaden. I Tabellerna 8c och 8d presenterar vi därför resultat från modeller där vi separerat olyckorna i termer av olyckor som antingen involverar lätta fordon eller tunga fordon och inkluderar bara trafikflöde för lätta respektive tunga fordon. Olyckor mellan lätta och tunga fordon ingår alltså inte här. Genom att bara inkludera trafikflöde för lätta (tunga) fordon lägger vi explicit på restriktionen att indirekta effekter är noll i var och en av modellerna. I Tabell 8e presenterar vi resultaten för modellen som avser olyckor mellan lätta och tunga fordon där det är mer rimligt att inkludera trafikflöden för båda kategorierna.

[29] Hon använder dock antal olyckor som utfallsvariabel snarare än antalet dödade, svårt och lindrigt skadade.

[30] Winslott-Hiselius rapporterar också att olika segmenteringar av modellen ger lite olika resultat för de estimerade parametrarna.

[31] Resultaten i Winslott-Hiselius (2004) tyder också på relativt stor heterogenitet mellan olika vägtyper definierade efter maximal hastighet och bredd.

Tabell 8a. Gemensamma modeller för samtliga olyckstyper.

	Spec.1	***Spec. 2***	***Spec. 2 FMM***	
Sannolikhet	-	-	0.025	0.975
Intercept	-15.699 (0.063)	-13.403 (0.184)	-7.322 (0.166)	-18.274 (0.179)
ÅTL	1.116 (0.011)	0.893 (0.012)	0.695 (0.012)	0.988 (0.014)
ÅTT	-0.079 (0.009)	0.124 (0.011)	0.052 (0.011)	0.280 (0.014)
Bredd	-	0.276 (0.024)	0.137 (0.021)	
50-60 km/tim	-	0.190 (0.056)	0.166 (0.055)	
70 km/tim	-	-0.040 (0.055)	-0.200 (0.054)	
80-90 km/tim	-	-0.443 (0.056)	-0.568 (0.055)	
100 km/tim	-	-0.711 (0.061)	-0.853 (0.058)	
110-120 km/tim	-	-0.740 (0.059)	-0.956 (0.056)	
År 2005	-0.013 (0.022)	-0.022 (0.022)	-0.020 (0.018)	
År 2006	-0.054 (0.022)	-0.066 (0.022)	-0.070 (0.019)	
År 2007	0.001 (0.022)	-0.023 (0.022)	-0.069 (0.018)	
År 2008	0.121 (0.022)	0.098 (0.021)	0.052 (0.018)	
År 2009	0.329 (0.021)	0.307 (0.021)	0.239 (0.017)	
År 2010	0.191 (0.021)	0.185 (0.021)	0.164 (0.018)	
År 2011	0.098 (0.021)	0.086 (0.021)	0.052 (0.018)	
År 2012	0.152 (0.021)	0.145 (0.021)	0.092 (0.018)	
Alpha	17.790 (0.145)	17.094 (0.141)	-	
AIC	729895	727267	735770	
MEC Lätta	0.170	0.069	0.000	
MEC Tunga	-0.238	-0.067	-0.112	

Noter: Beroende variabel är summan av antal dödade, svårt och lindrigt skadade per vägsegment. Antal observationer 4167297. Alfa-parametern var signifikant skild ifrån noll i både specifikation 1 och 2. FM-modellen anpassades under antagande om att var och en av de två komponenterna var en Poisson-modell. Standardfel inom parentes, *ÅTL* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för lätta fordon, *ÅTT* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för tunga fordon, *Bredd* avser den naturliga logaritmen för bredden på vägsegmentet, *längd* avser den naturliga logaritmen för längden på vägsegmentet, 30-40 km/tim och år 2004 är referenskategorier.

Tabell 8b. Gemensamma modeller för samtliga olyckstyper.

	Dödade		***Svårt skadade***		***Lindrigt skadade***	
Intercept	-12.752	(1.012)	-12.167	(0.409)	-14.375	(0.197)
ÅTL	0.450	(0.059)	0.742	(0.026)	0.921	(0.012)
ÅTT	0.289	(0.055)	0.121	(0.024)	0.123	(0.011)
Bredd	0.430	(0.124)	0.426	(0.054)	0.208	(0.026)
50-60 km/tim	0.070	(0.463)	-0.111	(0.126)	0.250	(0.060)
70 km/tim	0.314	(0.457)	-0.273	(0.124)	-0.002	(0.060)
80-90 km/tim	0.504	(0.457)	-0.497	(0.125)	-0.453	(0.060)
100 km/tim	-0.621	(0.483)	-0.961	(0.138)	-0.670	(0.066)
110-120 km/tim	-0.593	(0.467)	-1.021	(0.132)	-0.715	(0.064)
År 2005	-0.133	(0.100)	-0.079	(0.045)	-0.006	(0.023)
År 2006	-0.107	(0.100)	-0.159	(0.046)	-0.040	(0.023)
År 2007	-0.106	(0.100)	-0.144	(0.046)	0.002	(0.023)
År 2008	-0.181	(0.102)	-0.089	(0.045)	0.138	(0.023)
År 2009	-0.140	(0.101)	0.049	(0.045)	0.354	(0.022)
År 2010	-0.511	(0.110)	-0.204	(0.046)	0.262	(0.022)
År 2011	-0.401	(0.106)	-0.206	(0.046)	0.142	(0.023)
År 2012	-0.400	(0.106)	-0.228	(0.046)	0.216	(0.023)
Alpha	104.417	(7.820)	55.426	(1.225)	17.636	(0.162)
AIC	31005		162237		633720	
MEC Lätta	-0.054		-0.006		0.027	
MEC Tunga	0.083		-0.057		-0.018	

Noter: Beroende variabel är summan av antal dödade, svårt och lindrigt skadade per vägsegment. Antal observationer 4167297. *ÅTL* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för lätta fordon, *ÅTT* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för tunga fordon, *Bredd* avser den naturliga logaritmen för bredden på vägsegmentet, *längd* avser den naturliga logaritmen för längden på vägsegmentet, 30-40 km/tim och år 2004 är referenskategorier.

Tabell 8c. Modeller för lätta fordons samtliga olyckstyper utom de mellan lätta och tunga fordon

	Dödade		***Svårt skadade***		***Lindrigt skadade***	
Intercept	-11.742	(1.124)	-11.233	(0.424)	-13.584	(0.202)
ÅTL	0.657	(0.031)	0.811	(0.012)	1.004	(0.006)
Bredd	0.563	(0.140)	0.558	(0.055)	0.329	(0.026)
50-60 km/tim	-0.017	(0.465)	-0.074	(0.131)	0.245	(0.061)
70 km/tim	0.165	(0.458)	-0.282	(0.129)	-0.044	(0.061)
80-90 km/tim	0.369	(0.459)	-0.445	(0.130)	-0.456	(0.061)
100 km/tim	-0.915	(0.500)	-0.863	(0.143)	-0.627	(0.066)
110-120 km/tim	-0.604	(0.470)	-0.942	(0.136)	-0.690	(0.064)
År 2005	-0.084	(0.109)	-0.044	(0.047)	-0.010	(0.024)
År 2006	-0.226	(0.113)	-0.149	(0.048)	-0.062	(0.024)
År 2007	-0.129	(0.111)	-0.107	(0.047)	-0.001	(0.024)
År 2008	-0.228	(0.113)	-0.045	(0.047)	0.153	(0.023)
År 2009	-0.125	(0.112)	0.088	(0.046)	0.368	(0.023)
År 2010	-0.574	(0.123)	-0.217	(0.048)	0.257	(0.023)
År 2011	-0.451	(0.119)	-0.163	(0.048)	0.149	(0.023)
År 2012	-0.438	(0.119)	-0.213	(0.048)	0.237	(0.023)
Alpha	145.084	(12.881)	62.773	(1.439)	19.297	(0.183)
AIC	25395		153053		608153	
MEC Lätta	-0.014		0.013		0.035	

Noter: Beroende variabel är summan av antal dödade, svårt och lindrigt skadade per vägsegment. Antal observationer 4238574. *ÅTL* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för lätta fordon, *Bredd* avser den naturliga logaritmen för bredden på vägsegmentet, *längd* avser den naturliga logaritmen för längden på vägsegmentet, 30-40 km/tim och år 2004 är referens-kategorier.

Tabell 8d. Modeller för tunga fordons samtliga olyckstyper utom de mellan lätta och tunga fordon.

	Dödade		***Svårt Skadade***		***Lindrigt Skadade***	
Intercept	-35.395	(4.757)	-11.480	(1.994)	-13.990	(0.951)
ÅTT	0.976	(0.112)	0.742	(0.058)	0.797	(0.027)
Bredd	-0.011	(0.491)	0.568	(0.284)	0.017	(0.134)
50-60 km/tim	15.936	(3.956)	-0.032	(0.650)	-0.068	(0.338)
70 km/tim	16.012	(3.953)	-0.465	(0.641)	-0.084	(0.332)
80-90 km/tim	15.923	(3.944)	-1.011	(0.645)	-0.548	(0.334)
100 km/tim	14.818	(3.970)	-1.347	(0.704)	-0.706	(0.359)
110-120 km/tim	15.114	(3.928)	-1.500	(0.674)	-0.654	(0.346)
År 2005	-0.299	(0.495)	-0.215	(0.241)	0.348	(0.123)
År 2006	0.447	(0.435)	-0.514	(0.253)	0.136	(0.126)
År 2007	0.056	(0.460)	-0.303	(0.241)	0.165	(0.124)
År 2008	-0.095	(0.479)	-0.653	(0.261)	0.164	(0.124)
År 2009	-0.002	(0.472)	-0.281	(0.245)	0.359	(0.122)
År 2010	-0.232	(0.489)	-0.096	(0.235)	0.397	(0.120)
År 2011	0.113	(0.451)	-0.151	(0.237)	0.402	(0.120)
År 2012	0.243	(0.449)	-0.253	(0.241)	0.132	(0.124)
Alpha	1193.467	(377.408)	1309.661	(172.015)	422.684	(21.316)
AIC	2402		8186		34218	
MEC Tunga	0.054		0.006		0.008	

Noter: Beroende variabel är summan av antal dödade, svårt och lindrigt skadade per vägsegment. Antal observationer 4192964. *ÅTT* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för tunga fordon, *Bredd* avser den naturliga logaritmen för bredden på vägsegmentet, *längd* avser den naturliga logaritmen för längden på vägsegmentet, 30-40 km/tim och år 2004 är referens-kategorier.

Tabell 8e. Modell för antal dödade, svårt skadade och lindrigt skadade i olyckor mellan lätta och tunga fordon.

	Dödade, svårt skadade och lindrigt skadade	
Intercept	-19.400	(0.715)
ÅTL	0.551	(0.045)
ÅTT	0.686	(0.042)
Bredd	0.156	(0.087)
50-60 km/tim	0.831	(0.308)
70 km/tim	0.622	(0.306)
80-90 km/tim	0.138	(0.307)
100 km/tim	-0.079	(0.317)
110-120 km/tim	-0.208	(0.312)
År 2005	-0.126	(0.086)
År 2006	0.199	(0.082)
År 2007	0.003	(0.084)
År 2008	-0.089	(0.085)
År 2009	0.160	(0.083)
År 2010	0.407	(0.079)
År 2011	-0.004	(0.083)
År 2012	0.068	(0.082)
Alpha	129.055	(4.316)
AIC	65196	
MEC Lätta	-0.006	
MEC Tunga	0.168	

Noter: Beroende variabel är summan av antal dödade, svårt och lindrigt skadade per vägsegment. Antal observationer 4192964. *ÅTT* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för tunga fordon, *Bredd* avser den naturliga logaritmen för bredden på vägsegmentet, *längd* avser den naturliga logaritmen för längden på vägsegmentet, 30-40 km/tim och år 2004 är referens-kategorier.

I Tabell 8c ser vi att effekten av lätta fordons trafikflöde på utfallsvariabeln är lägre i modellen för antal dödade per vägsegment än i modellerna för svårt respektive lindrigt skadade. Summerar vi den externa marginalkostnaden för lätta fordon i Tabell 8c och Tabell 8e så ser vi att den är 3 öre per kilometer.

I Tabell 8d ser vi att effekten av tunga fordons trafikflöde snarare är högre i modellen för antal dödade än i modellerna för svårt respektive lindrigt skadade. Dessutom ser parametrarna för hastighetsgräns

märkliga ut i modellen för antal dödade jämfört med motsvarande parametrar i de två andra modellerna. Summerar vi de externa marginalkostnaderna för tunga fordon i Tabell 8d och Tabell 8e ser vi att den externa marginalkostnaden är relativt hög jämfört med tidigare tabeller, ca 24 öre per kilometer. Detta beror framför allt på en relativt hög extern marginalkostnad för tunga fordon i olyckor med lätta fordon där en stor del av olyckskostnaden faller på lätta fordon. Resultaten för tunga fordon tyder på att resultaten för dessa är starkt beroende av hur vi hanterar antagandet om att de indirekta effekterna är lika med noll.

I det följande går vi vidare med att ytterligare disaggregera modellerna för att undersöka heterogenitet i elasticiteten för dödade, svårt skadade och lindrigt skadade med avseende på trafikflöde genom att använda de olyckstyper som presenterades och motiverades i avsnitt 3.1. Detta innebär dock i många fall att vi är tvungna att aggregera över de olika skadekonsekvenserna för respektive modell då antalet dödade, svårt skadade och lindrigt skadade i var och en av olyckstyperna ofta blir för litet för att modellerna ska vara möjliga att estimera. Risken är då att vi överskattar den externa marginal-kostnaden om effekten av trafikflöde på utfallsvariabeln är lägre för svårare skadeutfall (se t.ex. tabell 8b). Vi inleder med att presentera modeller som motsvarar de vi sett i Tabellerna 8b–8e i termer av kontrollvariabler och typ av estimator (”grundmodellerna”) innan vi går över till att presentera resultat för de modeller som beskrivs i avsnitt 3.2 (FM-modeller och IV-modeller för en del olyckstyper för lätta fordon). I relevanta fall inkluderar vi nu även befolkningspotentialen för några av modellerna. Skälet till att den variabeln inte ingick i modellerna i Tabellerna 8a–8e är att vi väntar oss att tecknet på parametern kan variera mellan olyckstyperna.

I Tabell 9 redovisas estimeringsresultaten för lätta fordons ”grundmodeller” för de olyckstyper som beskrevs i avsnitt 3.1. I de modeller där vi kunnat estimera separata modeller för dödade, svårt skadade och lindrigt skadade (singelolyckor och olyckor mellan fler än ett lätt fordon) ser vi att parametern för årstrafik för lätta fordon (olyckselasticiteten) är högre i modellerna för lindrigt skadade än för svårt skadade som i sin tur är högre än motsvarande parameter i modellerna för dödade. Resultaten påminner alltså om de som Høye (2014) rapporterar och de vi såg i Tabell 8c. Resultaten tyder på att man överskattar den externa marginalkostnaden för trafikolyckor om man inte beaktar att skadekonsekvens påverkas av trafikflöde. Vi ser också att den externa marginalkostnaden varierar mellan -4 öre/km och +4 öre/km mellan olika typer av modeller. Det högsta värdet finner vi för olyckor mellan lätta fordon och oskyddade trafikanter. Summerar vi den externa marginalkostnaden över samtliga modeller så är den summerade externa marginalkostnaden per kilometer i princip lika med noll. Detta resultat påminner alltså om vad Vitaliano och Held (1991) kom fram till, även om de inte beaktade skillnader i skadefördelning i sin modell. Poängen med att estimera separata modeller för de olika olyckstyperna istället för att som i Tabell 8c estimera gemensamma modeller för samtliga olyckstyper utom de mellan lätta och tunga fordon verkar alltså i termer av den beräknade externa marginalkostnaden.

Tabell 9. Ett urval parametrar från estimerade modeller samt motsvarande extern marginalkostnad - lätt fordon huvudkategori.

Typ [a]	***Modeller för antal i lätt fordon eller i båda fordonen*** [b]					
	Intercept [c]	***ÅTL*** [d]	***ÅTT*** [e]	***P*** [f]	***AIC***	***MEC kr/km*** [g]
1, dödade	-11.882 (1.608)	0.536 (0.045)	-	-	12507	-0.044
1, svårt Skadade	-10.575 (0.590)	0.654 (0.017)	-	-	81827	-0.031
1, lindrigt	-13.718 (0.279)	0.810 (0.008)	-	-	312743	0.008

Typ[a]	*Modeller för antal i lätt fordon eller i båda fordonen*[b]					
	Intercept[c]	*ÅTL*[d]	*ÅTT*[e]	*P*[f]	*AIC*	*MEC kr/km*[g]
Skadade						
2, dödade	-28.967 (1.620)	0.764 (0.061)	-	-	8369	-0.005
2, svårt skadade	-15.343 (0.819)	1.038 (0.023)	-	-	59810	0.013
2, lindrigt skadade	-15.975 (0.338)	1.224 (0.010)	-	-	301045	0.019
3	-19.400 (0.715)	0.551 (0.045)	0.686 (0.042)	-	65196	-0.006
4[h]	-14.637 (0.463)	0.868 (0.015)	-	0.083 (0.007)	87020	0.041
5 och 7	-18.671 (1.785)	0.796 (0.054)	-	0.042 (0.026)	14620	0.003
6	-12.949 (1.057)	0.682 (0.025)	-	-0.106 (0.012)	45202	-0.002

Noter:

(a) Typ avser olyckstyperna: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon (3) olyckor med tunga fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med ”terrängfordon”, (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur.

(b) Modellerna använder den naturliga logaritmen för vägsegmentets längd i kilometer som offset. Alla modeller inkluderar även den naturliga logaritmen för vägsegmentets bredd, fulla uppsättningar dummyvariabler för hastighetsgräns: 30–40 km/tim, 50–60 km/tim, 70 km/tim, 80–90 km/tim, 100 km/tim samt 110–120 km/tim och för år: 2004–2012.

(c) Ej korrigerat för underrapportering av svårt skadade respektive lindrigt skadade.

(d) *ÅTL* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för lätta fordon.

(e) *ÅTT* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för tunga fordon.

(f) *P* avser den naturliga logaritmen för befolkningspotential ca 2 km från vägsegmentet.

(g) Korrigerat för underrapportering av svårt skadade respektive lindrigt skadade.

(h) Estimerad som en Poisson-modell eftersom parametern för överspridning i NB2 modellen var i princip lika med noll.

Tabell 10 innehåller motsvarande resultat för tunga fordon. Här har vi inte för någon olyckstyp kunnat estimera separata modeller för olika skadekonsekvenser utan har estimerat gemensamma modeller för de tre skadeutfallen i alla modeller. Här ser vi att den estimerade olyckselasticiteten varierar mellan 0,686 och 0,847 och den externa marginalkostnaden varierar mellan 0 öre/km och 17 öre/km. Den senare siffran avser olyckor mellan lätta och tunga fordon (fullständiga resultat för denna modell återfinns för övrigt i Tabell 8e). Vi ser också att den externa marginalkostnaden för olyckor mellan tunga fordon och oskyddade trafikanter är ca 10 öre/km medan motsvarande kostnad för resterande olyckstyper är omkring 0 öre/km. Summerat över samtliga olyckstyper är den externa marginal-kostnaden för tunga fordon ca 26 öre/km i Tabell 10. I slutrapporten från SAMKOST 1 var motsvarande siffra ca 0 öre/km. Skillnaden beror i huvudsak på att kostnaderna för olyckstyperna 3 och 4 här blir högre. I den tidigare rapporten användes en annan uppsättning kontrollvariabler i modell 3 vilket gav en väsentlig lägre olyckselasticitet. Resultaten är i detta avseende alltså inte robusta. Detta

beror sannolikt på att variablerna i modellen för trafikflöde för lätta respektive tunga fordon är väldigt högt korrelerade (0,944) vilket kan innebära att små förändringar ger stora förändringar i parametrarna och därmed i de beräknade externa marginalkostnaderna. Om man t.ex. tar bort kontrollvariablerna för hastighetsgräns från modellen (resultaten rapporteras ej i Tabell 10) blir den estimerade olyckselasticiteten för lätta fordon 0,817 i modellen (istället för 0,551) och den för tunga fordon blir 0,416 (istället för 0,686). I modellen utan kontrollvariabler för hastighetsgräns är alltså elasticiteten för lätta fordon avsevärt högre än den för tunga fordon samtidigt som det omvända gällde i modellen med kontrollvariabler. Vi återkommer till detta i de utvidgade modeller vi har estimerat i denna rapport. Vad gäller olyckstyp 4 har vi här använt en bredare definition för oskyddade trafikanter än i den tidigare rapporten vilket drar upp antalet sådana olyckor per fordonskilometer (risken för sådana olyckor) i denna rapport.

Tabell 10. Ett urval parametrar från estimerade modeller samt motsvarande extern marginalkostnad - tungt fordon huvudkategori.

Typ [a]	***Modeller för antal i tungt fordon eller i båda fordonen*** [b]					
	Intercept [c]	***ÅTL*** [d]	***ÅTT*** [e]	***P*** [f]	***AIC***	***MEC kr/km*** [g]
1	-16.154 (1.101)	-	0.824 (0.030)	-	27906	-0.001
2 [h]	-14.421 (1.645)	-	0.703 (0.041)	-	12230	-0.006
3	-19.400 (0.715)	0.551 (0.045)	0.686 (0.042)	-	65196	0.168
4	-14.418 (1.862)	-	0.772 (0.059)	0.180 (0.031)	7600	0.096
5, 6 och 7	-20.579 (4.335)	-	0.847 (0.134)	0.047 (0.068)	2122	0.005

Noter:

(a) Typ avser olyckstyperna: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon (3) olyckor med tunga fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med ”terrängfordon”, (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur.

(b) Modellerna använder den naturliga logaritmen för vägsegmentets längd i kilometer som offset. Alla modeller inkluderar även den naturliga logaritmen för vägsegmentets bredd, fulla uppsättningar dummyvariabler för hastighetsgräns: 30–40 km/tim, 50–60 km/tim, 70 km/tim, 80–90 km/tim, 100 km/tim samt 110–120 km/tim och för år: 2004–2012.

(c) Ej korrigerat för underrapportering av svårt skadade respektive lindrigt skadade.

(d) *ÅTL* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för lätta fordon.

(e) *ÅTT* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för tunga fordon.

(f) *P* avser den naturliga logaritmen för befolkningspotential ca 2 km från vägsegmentet.

(g) Korrigerat för underrapportering av svårt skadade respektive lindrigt skadade.

(h) Estimerad som en vanlig Poisson modell pga. estimeringsproblem för NB2.

I Tabell 11 presenterar vi resultat för de s.k. FM-modellerna för lätta fordon. Resultaten tyder generellt på att det verkar finnas två olika populationer från vilka observationer i materialet dras. I vissa modeller har det varit lämpligare att lägga på restriktionen att olyckselasticiteten är densamma i båda populationerna även om intercepten är olika (dessa påverkar det väntade antalet dödade, svårt skadade och lindrigt skadade). Den estimerade externa marginalkostnaden från respektive modell verkar dock

inte helt skild ifrån motsvarande estimat i motsvarande grundmodell. Den summerade marginalkostnaden per kilometer verkar något lägre än i grundmodellen: -4 öre/km snarare än 0 öre/km. Detta är inte en så stor skillnad med tanke på andra osäkerheter som finns i beräkningarna; t.ex. vad gäller värderingen för att undvika en dödad/en svårt skadad/en lindrigt skadad.

Tabell 11 Ett urval parametrar från estimerade FM-modeller samt motsvarande extern marginalkostnad - lätt fordon huvudkategori.

Typ [a]	***Modeller för antal i lätt fordon eller i båda fordonen*** [b]						
	π [h]	***Intercept*** [c]	***ÅTL*** [d]	***ÅTT*** [e]	***P*** [f]	***AIC***	***MEC kr/km*** [g]
1, d [i] *C = 1*	0.001	-5.578 (1.617)	0.534 (0.045)	-	-	12517	-0.044
1, d *C = 2*	0.999	-12.712 (1.616)		-	-		
1, ss [i] *C = 1*	0.002	-5.019 (0.566)	0.638 (0.016)	-	-	81822	-0.034
1, ss *C = 2*	0.998	-11.232 (0.565)		-	-		
1, ls *C = 1*	0.011	-6.816 (0.273)	0.591 (0.009)	-	-	312284	0.000
1, ls *C = 2*	0.989	-16.401 (0.280)	0.948 (0.010)	-	-		
2, d [i] *C = 1*	0.001	-6.714 (3.021)	0.736 (0.057)	-	-	8369	-0.007
2, d *C = 2*	0.999	-14.505 (3.023)		-	-		
2, ss [i] *C = 1*	0.003	-10.128 (0.689)	0.965 (0.019)	-	-	60847	0.009
2, ss *C = 2*	0.996	-16.733 (0.687)		-	-		
2, ls *C = 1*	0.010	-7.114 (0.271)	0.766 (0.009)	-	-	306618	0.007
2, ls *C = 2*	0.990	-26.545 (0.310)	1.747 (0.012)	-	-		

Noter: (a) Typ avser olyckstyperna: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon. *d* avser dödade, *ss* avser svårt skadade och *ls* avser lindrigt skadade. *C* =1 avser population 1 och *C* =2 avser population 2. (b) – (g) se noter till tabell 8. (h) Avser sannolikheten för respektive population. (i) Modellen där parametern för trafikflöde tilläts vara olika i de två populationerna valdes bort till förmån för en modell med restriktionen att parametern är densamma i de två populationerna. För detta beslut jämförde vi värdet på AIC från de två modellerna.

Tabell 11 (forts). Ett urval parametrar från estimerade FM-modeller samt motsvarande extern marginalkostnad – lätt fordon huvudkategori.

Typ[a]	Modeller för antal i lätt fordon eller i båda fordonen[b]						
	π[f]	Intercept[c]	ÅTL[d]	ÅTT[e]	P[f]	AIC	MEC kr/km [g]
3	0.004	-11.398	0.389	0.534	-		
C = 1		(0.634)	(0.039)	(0.037)		65402	-0.012
3	0.996	-34.463	0.763	1.442	-		
C = 2		(0.788)	(0.066)	(0.072)			
4	0.003	-7.012	0.734	-	0.076		
C = 1		(0.592)	(0.022)		(0.013)	78098	0.044
4	0.997	-18.394	1.090	-	0.094		
C = 2		(0.639)	(0.027		(0.013)		
6[i]	0.004	-7.730		-			
C = 1		(1.025)	0.646		-0.101	45606	-0.002
6	0.996	-14.141	(0.024)	-	(0.011)		
C = 2		(1.025)					
5 och 7 [i]	0.001	-11.782		-			
C = 1		(1.50g3)	0.731		0.042	14756	0.002
5 och 7	0.999	-20.538	(0.047)	-	(0.021)		
C = 2		(1.507)					

Noter: (a) Typ avser olyckstyperna: (3) olyckor med tunga fordon, (4) olyckor med oskyddade trafikanter, (5) olyckor med ”terrängfordon”, (6) olyckor med vilt, (7) olyckor med tamdjur. *d* avser dödade, *ss* avser svårt skadade och *ls* avser lindrigt skadade. *C* =1 avser population 1 och *C* =2 avser population 2. (b) – (g) se noter till tabell 8. (f) Avser sannolikheten för respektive population. (i) Modellen där parametern för trafikflöde tilläts vara olika i de två populationerna valdes bort till förmån för en modell med restriktionen att parametern är densamma i de två populationerna (detta gäller även för parametern relaterad till befolkningspotential). För detta beslut jämförde vi värdet på AIC från de två modellerna. (j) På grund av estimeringsproblem används restriktionen att parametern för trafikflöde är desamma i båda populationerna.

I Tabell 12 rapporteras motsvarande resultat för FM-modellerna för olyckor som involverar tunga fordon. Här ser vi också att det i allmänhet inte går att förkasta att observationerna kommer från två olika populationer. De estimerade externa marginalkostnaderna verkar dock i allmänhet relativt snarlika de som rapporterades för grundmodellerna i Tabell 10. Men modellen för olyckstyp 4 ger väldigt olika resultat beroende på om man tillåter att olyckselasticiteten är olika eller ej i de två populationerna. Om man inte lägger på restriktionen att de ska vara lika är den estimerade externa marginalkostnaden för tunga fordon -0,32 öre/km. Men om man istället lägger på den restriktionen så blir den estimerade externa marginalkostnaden ca 9 öre/km. Den senare modellen är att föredra om man beaktar värdet på AIC (Akaike’s Information Criterion) som beskriver en avvägning mellan hur väl modellen passar data och antalet estimerade parametrar. Men den stora skillnaden i estimerad extern marginalkostnad verkar ändå vara problematisk. Den summerade externa marginalkostnaden

för tunga fordon är antingen 21 öre/km eller -19 öre/km beroende på vilken modell man väljer för olyckstyp 4.

Tabell 12. Ett urval parametrar från estimerade FM-modeller samt motsvarande extern marginalkostnad – tungt fordon huvudkategori.

Typ [a]	***Modeller för antal i lätt fordon eller i båda fordonen*** [b]						
	π [f]	***Intercept*** [c]	***ÅTL*** [d]	***ÅTT*** [e]	***P*** [f]	***AIC***	***MEC kr/km*** [g]
1	>0.000	-9.082	-		-		
C = 1		(0.956)		0.791		27779	-0.007
				(0.026)			
1	<1.000	-17.347	-		-		
C = 2		(0.957)					
2	>0.000	9.515	-		-		
C = 1		(1.594)		0.230		8061	-0.037
				(0.046)			
2	<1.000	-0.479	-		-		
C = 2		(1.580)					
3	0.004	-11.398	0.389	0.534	-		
C = 1		(0.634)	(0.039)	(0.037)		65402	0.167
3	0.996	-34.463	0.763	1.442	-		
C = 2		(0.788)	(0.066)	(0.072)			
4	0.9968	4.339	-	-2.416	0.428		
C = 1		(6.558)		(0.955)	(0.175)	7628	-0.318
4	0.0032	-10.739	-	0.815	0.142		
C = 2		(1.766)		(0.058)	(0.030)		
4	>0.000	-6.162	-				
C = 1		(1.836)		0.760	0.179	7572	0.086
				(0.058)	(0.031)		
4	<1.000	-14.461	-				
C = 2		(1.807)					
5, 6, & 7	>0.000	-6.877	-				
C = 1		(4.020)		0.628	-0.057	2207	0.003
				(0.112)	(0.054)		
5, 6, & 7	<1.000	-17.250	-				
C = 2		(3.994)					

Noter: Se tabell 11.

Tabell 13. Ett urval parametrar från estimerade IV-modeller samt motsvarande extern marginalkostnad – lätt fordon huvudkategori.

Typ [a]	***Modeller för antal i lätt fordon eller i båda fordonen*** [b]					
	Intercept [c]	***ÅTL*** [d]	***ÅTT*** [e]	***U*** [f]	***AIC***	***MEC kr/km*** [g]
1, dödade [h]	1.463 (4.225)	0.073 (0.137)	-	0.467 (0.147)	12673	-0.094
1, svårt Skadade	-11.037 (1.753)	0.664 (0.057)	-	-0.024 (0.060)	79933	-0.030
1, lindrigt Skadade	-16.973 (0.808)	0.914 (0.026)	-	-0.124 (0.028)	306024	0.014
2, dödade	-12.639 (5.026)	0.186 (0.198)	-	0.651 (0.210)	8147	-0.021
2, svårt skadade	-27.334 (2.356)	1.437 (0.077)	-	-0.429 (0.081)	58778	0.042
2, lindrigt skadade	-40.081 (1.014)	2.022 (0.034)	-	-0.883 (0.035)	296478	0.050
3	-26.658 (1.356)	1.683 (0.183)	-0.240 0.151	-1.196 (0.189)	63940	*Lätt fordon:* 0.021 *Tungt fordon:* -0.078

Noter:

(a) Typ avser olyckstyperna: (1) singelolyckor, (2) olyckor med homogena fordon (3) olyckor med tunga fordon.

(b) Modellerna använder den naturliga logaritmen för vägsegmentets längd i kilometer som offset. Alla modeller inkluderar även den naturliga logaritmen för vägsegmentets bredd, fulla uppsättningar dummyvariabler för hastighetsgräns: 30–40 km/tim (referenskategori), 50–60 km/tim, 70 km/tim, 80–90 km/tim, 100 km/tim samt 110–120 km/tim och för år: 2004–2012 (2004 referenskategori).

(c) Ej korrigerat för underrapportering av svårt skadade respektive lindrigt skadade.

(d) *ÅTL* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för lätta fordon.

(e) *ÅTT* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för tunga fordon.

(f) *U* avser residualen från första-stegs-regressionen.

(g) Korrigerat för underrapportering av svårt skadade respektive lindrigt skadade.

(h) Estimerad som en Poisson-modell eftersom parametern för överspridning i NB2 modellen var i princip lika med noll.

I Tabell 13 presenterar vi resultaten för modellen där vi använder en instrumentalvariabelansats för att ta hänsyn till att trafikflöde för lätt fordon kan vara endogent i modellen.[32] I allmänhet verkar resultaten förkasta nollhypotesen att trafikflödet är exogent i modellen. Detta skulle kunna tyda på att modellen som skulle kunna kallas ”det händer inte mig” inte stämmer med data. Men andra tolkningar

[32] Appendix 3 innehåller fullständiga resultat för motsvarande första-stegs-regressioner.

är förstås möjliga. Mer intressant är att summan för den externa marginalkostnaden för lätta fordon i olyckstyperna 1, 2 och 3 kan beräknas till ca -2 öre/km. Detta skall jämföras med ca -5 öre/km för motsvarande modeller i Tabell 9 som presenterade resultaten för grundmodellerna. Skillnaden är med andra ord inte så stor vad gäller lätta fordon. Men i Tabell 13 ser vi att när vi instrumenterar trafikflödet för lätta fordon i modell 3 så blir olyckselasticiteten negativ för tunga fordon, liksom även den motsvarande externa marginalkostnaden som här beräknas till -8 öre/km. Om man ersätter motsvarande marginalkostnad i Tabell 9 med detta värde skulle den totala externa marginalkostnaden för tunga fordon vara ca 2 öre/km.

6. Slutsatser och avslutande diskussion

Syftet med denna rapport har varit att ta fram uppdaterade beräkningar för lätta och tunga fordons externa marginalkostnader för trafikolyckor i det statliga vägnätet. Dessa beräkningar har baserats på modeller som estimerats med information från Strada och NVDB för åren 2004–2012. Beräkningarna har sedan genomförts för år 2012.

I rapporten har ett antal olika modeller estimerats i syfte att undersöka hur robusta resultaten är mellan olika modellspecifikationer. Syftet med denna modellexercis har inte varit att ta fram en bra prediktionsmodell för antal dödade, svårt och lindrigt skadade på enskilda vägsegment. Det har istället varit att undersöka stabiliteten i beräknade externa marginalkostnader mellan olika specifikationer. Detta innebär att de enskilda modellerna kan över- eller underskatta utfallsvariabeln i olika delar av fördelning för trafikflöde. Men då man summerar den externa marginalkostnaden för de enskilda vägsegmenten kan över- och underskattningar i olika delar av fördelningen ta ut varandra.[33]

Vi har sett att det i viss utsträckning är viktigt att beakta observerad och icke-observerad heterogenitet mellan olika vägsegment. För en prediktionsmodell kanske det hade varit viktigt att inkludera ytterligare information om vägsegmentens olika egenskaper. Men då syftet alltså inte har varit att ta fram en prediktionsmodell har vi inte använt metoder som på ett systematiskt sätt testar olika prediktorer i modellen utan att samtidigt överanpassa modellen till data.[34]

Det första huvudresultatet i denna rapport är att lätta fordons externa marginalkostnad för trafikolyckor på det statliga vägnätet är låg. Sett över samtliga estimerade modeller verkar en rimlig bedömning vara att den är nära noll per kilometer för denna fordonskategori. Detta baserar sig alltså på ett stort antal olika typer av modeller som i huvudsak ger snarlika resultat.

Det andra huvudresultatet är att den externa marginalkostnaden för tunga fordons trafikolyckor i det statliga vägnätet varierar på ett betänkligt sätt mellan olika modeller. Estimaten för tunga fordon verkar med andra ord inte helt robusta. En bedömning från några av de centrala modellerna är att den externa marginalkostnaden för tunga fordon är ca 25 öre per kilometer. Den baserar sig dels på grundmodellen för tunga fordon där vi explicit antar att indirekta effekter av tunga fordon på risken för att andra trafikantkategorier råkar ut för en olycka är lika med noll, dels på den uppsättning modeller för olika olyckstyper där vi tillåter att effekten på tunga fordons trafikflöde på antal dödade, svårt och lindrigt skadade kan variera mellan olika olyckstyper. Resultaten från de modeller som beaktar viss icke-observerad heterogenitet (FM-modellerna) indikerar att den externa marginalkostnaden för tunga fordon kan vara något lägre, ca 21 öre. Men vi har även sett att den externa marginalkostnaden för tunga fordon kan vara avsevärt lägre vilket även resultaten i Winslott-Hiselius (2004) tyder på. Därför bör resultaten som presenterats här för tunga fordon tolkas med viss försiktighet.

Ett annat resultat är att det är viktigt hur man hanterar antagandet om att indirekta effekter på olyckor mellan andra fordon i den empiriska modellen och då särskilt för tunga fordon. Mer specifikt har vi sett att det är viktigt att den empiriska modellen för antal dödade, svårt och lindrigt skadade avspeglar att indirekta effekter är lika med noll om man antar detta vid beräkningen av den externa marginal-kostnaden för trafikolyckor.

En viktig begränsning för denna undersökning är användandet av årsdygnsmedeltrafik som är ett relativt grovt mått på trafikflöde när man analyserar trafikolyckor. Det är förmodligen mer lämpligt att

[33] Vi har dock testat ett antal olika specifikation för funktionsformen för trafikflöde utan att rapportera resultaten från dessa då variationer av funktionsformen inte avsevärt påverkat resultaten i de modeller där vi undersökt om detta på något avgörande sätt skulle förändra den övergripande bilden av den externa marginalkostnaden.

[34] Vi har testat att inkludera ytterligare några kontrollvariabler i några modeller vid sidan om dummyvariabler för högsta tillåtna hastighet, bredd och dummyvariabler för årtal för att se om dessa skulle förändra huvudresultaten utan att så varit fallet.

använda exempelvis trafikflöde per timme som Winslott-Hiselius (2004). Det är bara under relativt restriktiva antaganden som man får korrekta bedömningar av effekten av trafikflöde på antal olyckor när man som vi baserar undersökningen på årsdygnsmedeltrafik (se Mensah och Hauer, 1998, samt appendix 2 i denna rapport). Fördelen är dock att all information om olyckor på samtliga vägsegment kan användas och inte bara på de vägsegment där man mäter trafikflöde per timme. Men det verkar trots allt rimligt att genomföra en uppdatering av Winslott-Hiselius studie på data från senare år som komplement till denna studie.

En annan viktig begränsning är att vi liksom många andra beräkningar av den externa marginal-kostnaden för trafikolyckor avgränsat beräkningen till de parter som är direkt involverade i olyckan. Indirekta effekter då t.ex. en lastbil indirekt orsakar en olycka för en personbil utan att vara part i själva olyckan har ju en potentiellt hög extern kostnad då hela olyckskostnaden faller på annan part. I brist på information om eventuellt indirekt inblandade parter i olyckan har vi inte kunnat beakta den externa marginalkostnaden för sådana indirekta olyckseffekter. Men det kan eventuellt vara relevant att följa upp i framtida undersökningar.

Referenser

Angrist, J.D., & Pischke, J.-S., (2009), *Mostly Harmless Econometrics – An Empiricist's Companion*, Princeton University Press.

Bhat, C.R., K. Born, R. Sidharthan, & P.C. Bhat (2014), "A count data model with endogenous covariates: Formulation and application to roadway crash frequency at intersections", *Analytic Methods in Accident Research* 1: 53–71

Björketun, U. & Carlsson A. (2005), *Trafikvariation över året Trafikindex och rangkurvor beräknade från mätdata*, VTI notat 31-2005

Bue Bjørner, T., Høj Kjeldsen, M. & Vest Nielsen, K. (2013), "Marginale eksterne ulykkesomkostninger og personbilers vægt", Arbejdspapir 2013:2, De Økonomiske Råd ISSN 0907-2977.

Cameron, A.C. & Trivedi, P.K. (2013), *Regression Analysis of Count Data*, second edition, Cambridge University Press.

Dickerson, A., Peirson, J. & Vickerman, R. (2000), "Road Accidents and Traffic Flows: An Econometric Investigation", *Economica* 67: 101–21

Duncan, C.S., Khattak, A.J., & Council, F.M. (1998) "Applying the Ordered Probit Model to Injury Severity in Truck-Passenger Car Rear-End Collisions", *Transportation Research Record* 1635: 63- 71.

Edlin, A.S. & Karaca-Mandic, P. (2006) "The Accident Externality from Driving", *Journal of Political Economy* 114 (5): 931-955.

Elvik, R. (1994), "The External Costs of Traffic Injury: Definition, Estimation, and Possibilities for Internalization", *Accident Analysis and Prevention* 26 (6): 719-732.

Elvik, R. (2014), *Towards a general theory of the relationship between exposure and risk,* TØI report 1316/2014

Elvik, R. & Borger Mysen, A. (1999), Incomplete Accident Reporting Meta-Analysis of Studies Made in 13 Countries, *Transportation Research Record* 1665: 133-140.

Golob, T.F., & Recker, W.W. (2003) "Relationships Among Urban Freeway Accidents, Traffic Flow, Weather, and Lighting Conditions", *Journal of Transportation Engineering*, 129 (4): 342-353.

Hensher, D. A. (2006), "Externalities in an Urban Speed Reduction Context", *Transport Reviews*, 26 (4): 521–534.

Hultkrantz, L. & Lindberg, G. (2011), *Accident cost, speed and vehicle mass externalities, and insurance*, OECD International Transport Forum, Discussion Paper 2011-26.

Høye, A. (2014), *Utvikling av ulykkesmodeller for ulykker på riks- og fylkesvegnettet i Norge,* TØI rapport 1323/2014.

Isacsson, G. (2014), *Prediktioner av antal personer som går resp. cyklar till jobbet på basis av resvaneundersökningar och geografiskt högupplösta registerdata*, VTI Notat 20-2014.

Jacobsen, P.L. (2003), "Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling", *Injury Prevention* 9:205–209

Jansson, J.-O. (1994), "Accident Externality Charges", *Journal of Transport Economics and Policy*: 31-43.

Larsson, J. & Björketun, U. (2008), *Trafikolyckor i Sverige: Skattningar av bortfallsfaktorer via STRADA*, VTI notat 27-2007.

Leden, L. (2002), “Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario”, *Accident Analysis and Prevention* 34: 457–464

Lemp, J.D. & Kockelman, K.M. (2008), “Quantifying the external costs of vehicle use: Evidence from America’s top-selling light-duty models”, *Transportation Research Part D* 13: 491–504

Lindberg, G. (2001), “Traffic Insurance and Accident Externality Charges”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 35 (3): 399-416.

Lindberg, G. (2002), Deliverable 9: Accident Cost Case Studies, Case Study 8d: External Accident Cost of Heavy Goods Vehicles. (UNIfication of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Deliverable 9. Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds..

Lindberg, G. (2005), “Accidents”, i Measuring the Marginal Social Cost of Transport, Research in Transportation Economics vol. 14, redaktörer Nash, C. & Matthews, B. Elsevier.

Lindberg, G. (2006), *Marginal cost case studies for road and rail transport Deliverable D 3*, GRACE. Funded by Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.

Lord, D., Manar, A., & Vizioli, A. (2005), “Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments”, *Accident Analysis and Prevention* 37: 185–199

Mensah, A. & Hauer, E. (1998), “Two Problems of Averaging Arising in the Estimation of the Relationship Between Accidents and Traffic Flow”, *Transportation Research Record* 1635: 37-43.

MSB (2013) *Samhällets kostnader för vägtrafikolyckor: Beräkningar*, Publikationsnummer MSB 0048-09

Nerhagen, L., Björketun, U., Genell, A., Swärdh, J.-E. and Yahya, M.-R. (2015), *Externa kostnader för luftföroreningar och buller från trafiken på det statliga vägnätet Kunskapsläget och tillgången på beräkningsunderlag i Sverige samt några beräkningsexempel*, VTI notat 4-2015.

Newbery, D.M. (1988), “Road User Charges in Britain”, *The Economic Journal*, 98 (Conference 1988): 161-176.

Peirson, J., Skinner, I. and Vickerman, R. (1998), “The Microeconomic Analysis of the External Costs of Road Accidents”, *Economica* 65(259): 429-440

SCB (2013) *Statistisk Årsbok*

SIKA (2008), *Vad kostar en vägtrafikolycka?*, SIKA Rapport 2008:8.

Steimetz, S.S.C. (2008), “Defensive driving and the external costs of accidents and travel delays”, *Transportation Research Part B* 42: 703–724

Trafikanalys (2013), *Vägtrafikskador 2012 Beskrivning av statistiken*, Trafikanalys.

Trafikverket (2014), *Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.1,* Version 2014-04-01

Transportstyrelsen (2013) *Trafiksäkerheten i Sverige: Statistik och analys över järnväg, luftfart, sjöfart och väg för 2013* Rapport Dnr TSG 2014-12, Januari 2014

Van Ommeren, J., Rietveld, P., Zagha Hop, J., & Sabir, M. (201X), “Killing kilos in car accidents: Are external costs of car weight internalised?”, *Economics of Transportation* 2. 86–93.

Vickrey, W. (1968), “Automobile accidents, tort law, externalities, and insurance: an economist’s critique”, *Journal of Law and Contemporary Problems*: 464-484.

Vitaliano, D.F. & Held, J. (1991), “Road accident external effects: an empirical assessment”, *Applied Economics* 23: 373-378.

Wang, C., Quddus, M. A. & Ison S.G. (2013), “The effect of traffic and road characteristics on road safety: A review and future research direction”, *Safety Science* 57: 264–275.

Weinstein, N.D. (1984), “Why It Won't Happen to Me: Perceptions of Risk Factors and Susceptibility”, *Health Psychology*, 3(5): 431-457

White, M.J. (2004), “The “arms race” on american roads: the effect of sport utility vehicles and pickup trucks on traffic safety”, *Journal of Law and Economics*, vol. XLVII: 333-355.

Winslott Hiselius, L. (2004), “Estimating the relationship between accident frequency and homogeneous and inhomogeneous traffic flows”, *Accident Analysis and Prevention* 36: 985–992

Appendix 1.

Mer specifikt, flödet av trafikanter på vägsegment *i* år *t* ges av

$$Q_{it} = \tilde{Q}_{it} v_{it}$$

där Q_{it} är flödet av trafikanter i en viss typ av fordon, $\tilde{Q}_{it}$ är flödet av motsvarande fordon och v_{it} är det genomsnittliga antalet individer per sådant fordon (som vi inte har information om). Om vi t.ex. tar en modell för det betingade väntevärdet för antalet döda och bortser från kontrollvariabler så är grundmodellen

$$E(d_{it}|Q_{it}) = exp(\beta_{d0} + \beta_{d1} lnQ_{it})$$

där

$$lnQ_{it} = ln\tilde{Q}_{it} + lnv_{it}$$

Alltså har vi

$$E(d_{it}|Q_{it}) = exp\big(\beta_{d0} + \beta_{d1} ln\tilde{Q}_{it}\big)u_{it}$$

där $u_{it} = exp(\beta_{d1})v_{it}$. Denna form av mätfel till överspridning i den konventionella Poissonmodellen och hanteras alltså genom vårt val NB2 (Cameron & Trivedi, 2013, s. 484-485).

Appendix 2.

Vi noterade i avsnitt 3 att en komplikation för våra analyser är att informationen om trafikflöde avser årsdygnsmedeltrafik (ÅDT). Men egentligen är det trafikflödet i ett visst ”litet” tidsintervall omkring tidpunkten för olyckan vilket är relevant i sammanhanget. Mensah och Hauer (1998) diskuterar detta problem utförligt och noterar att användandet av ÅDT istället för mått på ett tidsmässigt mer finfördelat flöde kan leda till relativt stora skevheter i beräkningar av hur trafikflöde påverkar frekvensen olyckor. Storleken på dessa skevheter beror dels på hur stor variationen i trafikflöde är under dygnet och året, dels hur icke-linjärt sambandet mellan trafikflöde och trafikolyckor är.

Ett alternativ till ÅDT är alltså att använda trafikflöde per timme och relatera detta till antal olyckor. För en del av det svenska vägnätet finns mätningar av trafikflöde per timme. Dessa används av Winslott-Hiselius (2004).[35] Ett potentiellt problem att använda sådan tidsmässigt högupplöst information om trafikflöde istället för ÅDT är att sådan information inte finns för så stora delar av vägnätet. Det gör att man inte kan använda all information om de trafikolyckor som inträffat om man inte är beredd att rumsligt extrapolera informationen på ett vägsegment till andra vägsegment (jfr. Dickerson, m.fl. 2000). Detta kan dels göra det svårt att generalisera beräknade samband till hela nätet, dels blir precisionen i beräkningarna sämre om man inte kan använda all information om olyckor. Ett annat alternativ skulle kunna vara att använda omräkningsfaktorer för ÅDT för att få ett imputerat flöde per timme (se t.ex. Björketun och Carlsson, 2005, för sådana omräkningsfaktorer). Härigenom kan man använda data för hela vägnätet även om man introducerar ett proxyfel i trafikflödet per timme (jfr. diskussionen om s.k. ”Berksonfel” tidigare i denna rapport).

Detta appendix beskriver hur variation i trafikflöde över årets timmar påverkar möjligheten att estimera elasticiteten för antalet personer som dödats eller skadats (”antalet” i det följande) i en olycka m.a.p. trafikflöde (”elasticiteten” i det följande) konsistent med ”vanliga” estimatorer som t.ex. ”maximum likelihood estimatorn” då endast information om ÅDT eller motsvarande information om helårstrafik finns tillgänglig. Detta görs för de enkla modeller för sambandet som generellt används i uppsatsen, d.v.s. för en modell där logaritmen av det betingade väntevärdet för antalet beror på den naturliga logaritmen av trafikflödet. Detta fungerar på motsvarande sätt för de utvidgade modeller vi beskriver i avsnitt 3.2, d.v.s. för de FM-modeller vi estimerar (där vi också använder samma grundstruktur på respektive komponent som i grundmodellerna) och för den funktionsform vi använder med instrumentalvariabelansatsen. I fallet med ”spline-funktionerna” gäller i princip att separata versioner av grundmodellerna estimeras för olika intervall på ÅDT. Detta gör att slutsatserna här även gäller dessa modeller med tillägget att slutsatserna gäller betingat på respektive intervall. Men för andra funktionsformer än det log-log samband vi antar mellan väntevärdet för antal olyckor och ÅDT är det alltså inte säkert att resultaten i detta appendix gäller.

Vi inleder härledningen av de uttryck som följer med följande konstaterande: trafikflöde per timme kan förstås beskrivas genom en uppsättning vikter som omvandlar trafikflöde under året till ett flöde per timme under året. De fall som undersöks är: (i) situationen då variation över årets alla timmar kan beskrivas med samma uppsättning vikter för alla vägsegment, (ii) situationen då variation över årets alla timmar är unik för varje vägsegment men inte korrelerar med årsflödet för trafiken och (iii) situationen då variation över årets alla timmar är unik för varje vägsegment och korrelerar med årsflödet för trafiken. Sammanfattningsvis visar resultaten att: om (i) gäller så fångas variationen över året upp av interceptet i modellen och man kan estimera elasticiteten konsistent med hjälp av information om trafikflöde per år, om (ii) gäller så leder variation i trafikflöde över årets timmar till

[35] Det är dock osäkert om ens trafikflöde per timme är tillräckligt precist för analysen. Golob och Recker (2003) använder ett material där grunddata för trafikflödet avser flödet under 30 sekunders-intervall på tungt trafikerade motorvägar i södra Kalifornien. De kommer fram till att flödet kan aggregeras till ett flöde 30 minuter före olyckstillfället för att få stabila mått på trafikflöde och relaterade variabler i analysen.

över- eller underspridning spridning i modellen vilket innebär att man bör beakta detta då man estimerar modellen men man kan fortfarande estimera elasticiteten konsistent, om (iii) gäller så är trafikflödet endogent i modellen vilket leder till att elasticiteten inte kan estimeras konsistent med en ”vanlig maximum likelihood estimator”. Man måste istället förlita sig på andra estimatorer; t.ex. en ansats baserad på instrumentalvariabler.

Låt y_{ih} (h=1, 2, …, 8760) beteckna antalet personer som dödats och skadats på vägsegment i under årstimme h och låt q_{ih} beteckna trafikflödet på vägsegmentet under samma timme. Antag att

$$E(y_{ih}|q_{ih}) = exp(\beta_0 + \beta_1 lnq_{ih}) = exp(\beta_0){q_{ih}}^{\beta_1}$$

där β_1 är elasticiteten. Trafikflödet, Q_i, under året ges alltså av

$$Q_i = \sum_{h=1}^{8760} q_{ih}$$

och trafikflödet per timme kan alltså skrivas som

$$q_{ih} = \omega_{ih} Q_i$$

där

$$\sum_{h=1}^{8760} \omega_{ih} = 1.$$

Det totala antalet dödade och skadade på vägsegmentet under året, Y_i, ges alltså av

$$Y_i = \sum_{h=1}^{8760} y_{ih}$$

Alltså har vi

$$E(Y_i|q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{i8760}) = exp(\beta_0) \sum_{h=1}^{8760} {q_{ih}}^{\beta_1} = exp(\beta_0) Q_i^{\beta_1} \sum_{h=1}^{8760} {\omega_{ih}}^{\beta_1} = exp(\beta_0 + \beta_1 lnQ_i)\Omega_i$$

där $\Omega_i = \sum_{h=1}^{8760} {\omega_{ih}}^{\beta_1}$.

Om vikterna $\omega_{ih} = \omega_h$ för alla vägsegment i, så fångas alltså variationen i trafikflöde under året upp av interceptet i modellen d.v.s.

$$E(Y_i|q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{i8760}) = exp\left(\tilde{\beta}_0 + \beta_1 lnQ_i\right)$$

där $\tilde{\beta}_0 = \beta_0 + ln\Omega$. Man kan alltså fortfarande estimera elasticiteten β_1 konsistent på basis av information om årsflöde för trafiken.

Om vi istället antar att $E(Q_i\Omega_i) = 0$ så leder alltså variationen i trafikflöde under året i form av Ω_i till multiplikativ heterogenitet i modellen och därmed medför variationen i trafikflöde under året över- eller underspridning i modellen. Detta kan alltså hanteras genom att tillåta för sådana effekter genom att använda exempelvis en NB2 modell. Men så länge det betingade medelvärdet är korrekt specificerat kan vi använda information om trafikflöde under året för att konsistent estimera elasticiteten.

Om $E(Q_i\Omega_i) \neq 0$ så är alltså årsflödet för trafiken endogen i modellen och vi måste använda någon form av ansats baserad på instrumentalvariabler för att få en konsistent estimator för elasticiteten.

I huvudanalyserna i uppsatsen antar vi att fallen (i) eller (ii) gäller.

Appendix 3.

I tabell A3:1 presenteras fullständiga estimeringsresultat från första-stegs-regressionerna för de IV-modeller som presenteras i Tabell 12.

Tabell A3:1. Första-stegs-regressioner för IV-modellerna i tabell 12[(a)].

	Modeller[(b)]		
	1	*2*	*3*
Intercept	27.817 (0.011)	27.817 (0.011)	6.335 (0.008)
P[(c)]	0.145 (0.000)	0.145 (0.000)	0.054 (0.000)
ÅTT[(d)]	-	-	0.791 (0.000)
ln Bredd	3.157 (0.002)	3.157 (0.002)	0.342 (0.001)
50-60 km/tim	-0.152 (0.004)	-0.152 (0.004)	-0.149 (0.002)
70 km/tim	-0.398 (0.004)	-0.398 (0.004)	-0.245 (0.002)
80-90 km/tim	0.004 (0.004)	0.004 (0.004)	-0.437 (0.002)
100 km/tim	0.714 (0.005)	0.714 (0.005)	-0.471 (0.002)
110-120 km/tim	0.127 (0.005)	0.127 (0.005)	-0.547 (0.002)
2005	0.003 (0.002)	0.003 (0.002)	-0.037 (0.001)
2006	0.005 (0.002)	0.005 (0.002)	-0.035 (0.001)
2007	0.024 (0.002)	0.024 (0.002)	-0.074 (0.001)
2008	0.010 (0.002)	0.010 (0.002)	-0.087 (0.001)
2009	-0.011 (0.002)	-0.011 (0.002)	-0.086 (0.001)
2010	-0.040 (0.002)	-0.040 (0.002)	-0.161 (0.001)
2011	-0.021 (0.002)	-0.021 (0.002)	-0.157 (0.001)
2012	-0.029 (0.002)	-0.029 (0.002)	-0.164 (0.001)
Antal obs	4 110 943	4 110 943	4 042 269
R^2	0.600	0.600	0.908

Noter:

(a) Standardfel inom parentes. Kategorin 30-40 km/tim är referenskategori för indikatorvariabler för max. hastighet. År 2004 är referenskategori för indikatorvariabler för år.

(b) Modeller för den naturliga logaritmen för årstrafik för lätta fordon i olyckstyperna: (1) singelolyckor, dödade, svårt, och lindrigt skadade, (2) olyckor med homogena fordon, dödade, svårt, och lindrigt skadade, (3) olyckor mellan lätta och tunga tunga fordon.

(c) *P* avser den naturliga logaritmen för befolkningspotential ca 2 km från vägsegmentet.

(d) *ÅTT* avser den naturliga logaritmen för årstrafik för tunga fordon,

www.vti.se

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.

HEAD OFFICE
LINKÖPING
SE-581 95 LINKÖPING
PHONE +46 (0)13-20 40 00

STOCKHOLM
Box 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
PHONE +46 (0)8-555 770 20

GOTHENBURG
Box 8072
SE-402 78 GOTHENBURG
PHONE +46 (0)31-750 26 00

BORLÄNGE
Box 920
SE-781 29 BORLÄNGE
PHONE +46 (0)243-44 68 60

LUND
Medicon Village AB
SE-223 81 LUND
PHONE +46 (0)46-540 75 00

vti