

Fotgängares risk i trafiken

Analys av tidigare forskningsrön

Helena Stigson och Anders Kullgren
Institutionen för folkhälsovetenskap, Avdelningen för interventions- och
implementeringsforskning, Karolinska Institutet
2010

FÖRORD

Denna studie är gjord på uppdrag av Trafikverket i syfte att hitta dimensioneringskriterier för att undvika personsador i kollisioner mellan fotgängare och motorfordon. Dimensioneringskriterierna skall utgå från de mest sårbara trafikanterna med fokus på att undvika olyckor med svårt skadade och dödade.

Innehållsförteckning

Förord.....	2
Definitioner.....	4
1 Introduktion.....	5
1.1 Dos-responsmodell.....	5
1.2 Skaderisk.....	6
1.3 Bedömning av krockvåld.....	6
1.4 Kumulativ fördelning.....	7
1.5 Syfte.....	7
2 Litteraturstudie av fotgängares skaderisk.....	8
2.1 Metod.....	8
2.2 Resultat.....	8
2.2.1 Amerikansk Data 1958-1963.....	10
2.2.2 Brittisk data 1966-1979.....	10
2.2.3 Amerikansk data 1977-1980.....	13
2.2.4 Schweizisk data 1978-1981.....	14
2.2.5 Amerikansk data 1994-1998.....	17
2.2.6 Koreansk data 2003-2005.....	18
2.2.7 Brittisk data 2000-2006.....	19
2.2.8 Svensk data 1997-2006.....	21
2.2.9 Tysk data 1973-2007.....	21
2.2.10 Kinesisk data 2003-2009.....	24
3 Diskussion.....	27
3.1 Svår skada.....	27
3.2 Inverkan av ålder.....	28
3.3 Vikten av representativ exponering.....	29
3.4 Inverkan av mätfel.....	30
3.5 Jämförelse med andra trafikantgrupper.....	32
3.6 Rimlighet av riskkurvornas utseende.....	34
3.7 Uppskattning av risk för äldre fotgängare.....	35
3.8 Bilens skyddande förmåga av fotgängare.....	35
3.8.1 Effekt av automatiskt inbromsande system.....	36
4 Rekommendationer.....	38
5 Referenser.....	40

DEFINITIONER

AIS	Abbreviated Injury Scale
ISS	Injury Severity Score
MAIS	Maximum Abbreviated Injury Scale
SUV	Sport Utility Vehicles

I denna rapport används främst *Abbreviated Injury Scale* (AIS) för att klassificera personskadors allvarlighetsgrad. Personskador graderas från 0-6, tabell 1.

Tabell 1. AIS klassificering av personskador

AIS	Skadenivå
0	Oskadad
1	Lätt
2	Moderat
3	Allvarlig
4	Svår
5	Kritisk
6	Maximal

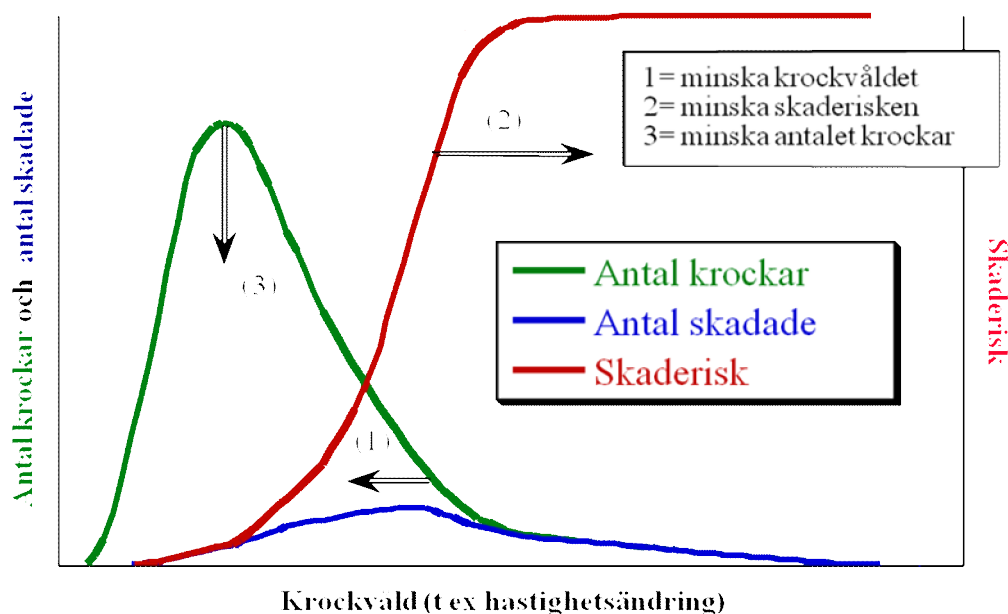
1 INTRODUKTION

Globalt utgör fotgängare den största riskgruppen i trafiken (Naci, m fl. 2009). Inom EU omkommer ca 8000 fotgängare och många skadas allvarligt varje år vid en kollision med ett fordon. I Sverige dör ca 60 personer och 360 skadas svårt i denna typ av olyckor (Larsson 2009). Merparten av dessa blir påkörda av en bilist. Bilens påkörandehastighet är en av de parametrar som har störst inverkan på fotgängarens skaderisk. Riktlinjer, enligt Nollvisionen filosofi, är att fordons hastighet bör begränsas till 30 km/h där det finns en risk för kollision mellan oskyddade trafikanter och motorfordon (Johansson 2008). Om inte detta är möjligt skall oskyddade trafikanter separeras från motorfordon. Trafikverkets/Vägverkets fotgängarkriterier baseras främst på en riskkurva presenterad av Anderson m fl (1997). Rosén och Sander (2009) har nyligen genomfört en studie som tyder på att tidigare riskfunktioner kraftigt överskattar risken för död, särskilt vid lägre hastigheter. Syftet med denna rapport är systematiskt gå igenom de studier som gjorts inom området samt att studera hur skaderisken varierar bland olika trafikgrupper. Särskilt fokus läggs på risk för svår skada och dödsrisk.

Kunskap om människans toleransnivå mot fysiskt våld är grundläggande för att kunna utforma ett säkert transportsystem. Verkliga olyckor utgör en viktig kunskapskälla för att närmare studera hur hastighet och hastighetsförändring påverkar skadeutfallet. För att jämföra risker inom vägtransportsystemet används ofta riskmått som grundas på antalet skadade/dödade trafikanter uppdelat på exempelvis olika hastighetsintervall. En viktig parameter vid uppskattning av risk är exponeringen det vill säga hur många som är utsatta för faran. Många databaser, liksom nationell statistik, som bygger på polisrapporterade olyckor innehåller fler svårt skadade och dödade än det faktiska antalet. Detta på grund av underrapportering av antalet olyckor med lindrigt skadade (Amoros, m fl. 2006). Följden blir att risken att skadas överskattas.

1.1 DOS-RESPNSMODELL

För att kunna göra prioriteringar av åtgärder i syfte att minska trafikskador bör man känna till tre olika faktorer: antal kollisioner, antal skadade och skaderisk med avseende av krockvåld (Kullgren 2008). Det finns tre möjligheter att påverka skadeutfallet i trafikolyckor; minska krockvåldet, minska skaderisken och minska antalet krockar, figur 1. Krockvåldet kan exempelvis minskas genom att sänka hastighetsgränsen eller förändring av vägmiljön. Krockvåldet kan också minskas genom aktiva skyddssystem såsom automatiskt bromsningssystem (t.ex. Volvos säkerhetssystem *City Safety*). Automatiska bromsande system kan dessutom minska antal krockar genom att de helt förhindrar en del krockar. Skaderisken kan påverkas både genom förändringar i bilens skyddssystem och i vägutformningen.



Figur 1. Antal krockar och antal skadade samt skaderisk i förhållande till krockvåld. Antalet skadade kan reduceras genom tre olika sätt: 1) minska krockvåldet, 2) minska skaderisken och 3) minska antalet krockar

1.2 SKADERISK

Risken att skadas påverkas av den biomekaniska toleransen för skada, det vill säga hur mycket krockvåld en människa kan utsättas för utan att skadas. Den biomekaniska toleransen varierar för olika individer. Den kan variera mellan kön, men för de flesta personskador är åldern mest avgörande. Äldre personer har i genomsnitt lägre toleransnivå än yngre. Studier har visat att risken ökar betydligt över en ålder av 60-65 år (Peng och Bongard 1999, Braver och Trempel 2004). Detta är viktigt att beakta vid dimensionering av vägtransportsystemet. Risken att skadas varierar dessutom med avseende på exempelvis trafikantgrupp, krockriktning och krockvåld. Risken att skadas i en bilkollision är exempelvis högre i sidokollision än en frontalkollision (Sunnevang, m fl. 2009). Skaderisk beskrivs ofta som en S-kurva framtagen med logistisk regressionsanalys, ekvation 1. Risken att skadas, $P(v)$, kan för olyckor där fotgängare blir påkörda av en bil beskrivas som en funktion av v = påkörningshastigheten samt parametrarna a och b som påverkar kurvans form, bland annat dess lutning.

$$P(v) = \frac{1}{1 + e^{-a-bv}} \quad [1]$$

1.3 BEDÖMNING AV KROCKVÅLD

Skattning av krockvåldet i en kollision kan exempelvis göras utifrån deformation på en bil eller utifrån positionen av bil/objekt/fotgängare efter krock samt kollisionspunkt. Problematiken vid en fotgängarolycka är att deformationerna på bilen är betydligt mindre än i exempelvis en tvåbils kollision. Det är därför avsevärt svårare att uppskatta påkörningshastigheten i en fotgängarolycka. Det krävs en mycket detaljerad olycksutredning på plats för att senare kunna rekonstruera olyckan och fastställa påkörningshastigheten (Eubanks och Haight 1992). För att göra en så bra rekonstruktion som möjligt krävs viktiga pusselbitar såsom uppgifter om

påkörningspunkten, hur fotgängaren blev påkörd (sida, framifrån osv.), fotgängarens gånghastighet, om föraren bromsade, friktion på vägen, slutpunkt för bil och fotgängare. Brister i olycksförloppet medför att rekonstruktionen tvingas bygga på antaganden och resultatet blir då bristfällig.

Uppskattning av påkörningshastighet i fotgängarolyckor görs främst utifrån träffpunkt och fordonets bromsspår samt kastavstånd. I vissa fall användes även vittnesuppgifter för att bestämma utgångshastigheten. Det är numera vanligt att använda matematiska moduleringsverktyg såsom PC-CRASH och MADYMO (MATHematical DYnamic MOdelling) för att rekonstruera och uppskatta påkörningshastigheten. Skillnader mellan olika metoder för att fastställa påkörningshastigheten i en fotgängarolycka har bland annat studerats av Depriester m fl (2005).

1.4 KUMULATIV FÖRDELNING

Ofta åskådliggörs fördelningen av antal skadade vid olika krockvåldsnivåer genom kumulativa fördelning. Dessa visar exempelvis vid vilket krockvåld som flest skadas. En fara vid tolkning av dessa kurvor är att de ofta förväxlas med skaderisk, som speglar kvoten mellan antal skadade och antal krockar. Båda kurvorna ger viktig information. Ibland kan kumulativa kurvor vara av stor vikt för systemutformare och konstruktörer av skyddssystem som behöver veta hur stor del av de skadade som en viss åtgärd adresserar.

1.5 SYFTE

Bilens påkörandehastighet är en av de parametrar som har störst inverkan på fotgängarens skaderisk. Det råder dock delade meningar om hur sambandet mellan påkörningshastighet och skaderisk ser ut. Med utgångspunkt från detta var syftet med denna rapport att utvärdera de studier som rör fotgängares risk för att skadas eller dö utifrån den påkörande bilens hastighet. Vidare var syftet att studera vilken inverkan fotgängarens ålder har på skaderisk. Syftet var dessutom att sammanställa de riskkurvor som bäst representerar dagens förhållande samt att jämföra sambandet mellan krockvåld och skaderisk för olika trafikantgrupper.

2 LITTERATURSTUDIE AV FOTGÄNGARES SKADERISK

Denna litteraturstudie innefattar studier som behandlar fotgängares risk för svår skada och/eller dödsrisk med avseende på bilens påkörningshastighet. Litteraturstudien har gjorts parallellt med en vetenskaplig artikel som är accepterad för publicering i tidskriften *Accident Analysis Prevention* (Rosén, m fl. 2010).

2.1 METOD

Under 2009 och 2010 genomfördes litteratursökning för att identifiera relevanta artiklar publicerade till och med 2010. Studier identifierades genom att följande tre metoder:

- 1) Litteratursökning genomfördes via: Google (www.google.com), PubMed (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed), SAE (www.sae.org), ScienceDirect (www.sciencedirect.com), Transportation Research Board (trb.metapress.com). Följande söktermer användes: *pedestrian, fatality, mortality, death, risk, and speed*.
- 2) Litteratursökning genomfördes i ämnesrelevanta konferensartiklar såsom *Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM)* från 1959 till 2009, *the International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)* från 1987 till 2009, *the International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact* från 1973 till 2009 och *the Stapp Car Crash Conference* från 1966 till 2009.
- 3) Referenslistor i de artiklarna som identifierats i 1) och 2) granskades för att hitta andra relevanta artiklar inom ämnet.

Alla artiklar granskades med avseende av den vetenskapliga kvaliteten i de enskilda studierna och deras förmåga att visa personskaderisk/dödsrisk på ett tillförlitligt sätt. Bedömningen av studierna påverkades av förekomsten av försvagande eller förstärkande faktorer som urval, val av statistisk analys, effektstorlek och precision i data. Vid genomgång av studierna har olycksmaterial beaktas utifrån tre faktorer: antal kollisioner, antal skadade och skaderisk med avseende av krockvåld.

2.2 RESULTAT

I litteraturstudien ingår studier baserade på amerikansk, brittisk, koreansk, kinesisk, schweizisk och tysk data. Studierna beskrivs nedan i kronologisk ordning. Den första fotgängerstudien som behandlar påkörningshastighet genomfördes redan på 60-talet. I tabell 2 redovisas de studierna som frekvent använts som referenser för fotgängares risk i trafik samt de som betraktas vara mest relevanta för denna litteraturstudie. Dessa jämförs med avseende på datamängd, skadeår, åldersfördelning samt skillnad mellan insamlat material och nationell statistik.

FOTGÄNGARES RISK I TRAFIKEN

Stigson och Kullgren 2010

Tabell 2. Summering av litteraturgenomgången

Studie	Databas	Skadeår	Antal	Andel dödsolyckor	Nationell statistik	Ålders- fördelning 0-14 år, 15-59 år, >60 år
Yaksich, 1964	Polisdata, St. Petersburg, Florida, USA	1958-1963	498	10%	-	25% >65 år
Teichgräber, 1983	Polisdata, St. Petersburg, Florida, USA					
Ashton m fl, 1977	Djupstudier, Birmingham/ Worcestershire, Storbritannien	1965-1979	336	20%	3,5%	45%, 30%, 25%
Ashton, 1982	Djupstudier, Birmingham/ Worcestershire, Storbritannien	1965-1979	358	23%	3,5%	43%, 34%, 23%
Pasanens, 1992	Djupstudier, Birmingham/ Worcestershire, Storbritannien	1965-1979	358	23%	3,5%	43%, 34%, 23%
Davis, 2001	Djupstudier, Birmingham/ Worcestershire, Storbritannien	1965-1979	358	23% (viktat)	3,5%	43%, 34%, 23%
Pitt m fl, 1990	Djupstudier, PICS USA	1977-1980	469	-	-	60% <10år
Walz m fl, 1983	Polisrapporterade olyckor, Zürich	1978, 1981	56	11%	5%	-
Anderson, 1997	Polisrapporterade olyckor, Zürich	1978, 1981	56	11%	5%	-
Oh m fl, 2008 b	Djupstudier, Korea	2003-2005	182	30%	5%	-
Oh m fl, 2008a	Djupstudier, Korea	2003-2005	101	okänt	5%	-
Cuerden, 2007	Djupstudier, OTS, Storbritannien	2000-2007	108	6,5%	2,4%	-
Hannawald & Kauer, 2004	Djupstudier, GIDAS, Tyskland	1991-2003	712	5%	2,2%	-
Rosén & Sander, 2009	Djupstudier, GIDAS, Tyskland	1999-2007	490	7% (viktat)	2,2%	-, 67%, 33%
Rosén m fl 2009	Djupstudier, GIDAS, Tyskland	1999-2007	694	5% (viktat)	2,2%	
Fredriksson & Rosén 2010	Djupstudier, GIDAS, Tyskland	1999-2007	1030	-	-	-
Kong & Yang, 2010	Djupstudier, Changsha, Kina	2003-2009	104	11% (viktat)	24%	-

2.2.1 Amerikansk Data 1958-1963

Yaksich (1964) utförde en studie baserat på polisrapporterade fotgängarolyckor i St. Petersburg, Florida. Olyckorna inträffade under åren 1958-1963.

2.2.1.1 Metod och material

Studien syfte var att studera äldre fotgängares risk i trafiken. Nästan 50 % av de skadade och 70 % av de omkomna fotgängarna utgörs därför av personer som var 65 år eller äldre. Studien baseras på skadematerial under fem år och totalt ingår 536 fotgängareolyckor var av 60 dödsolyckor. I 498 var av 48 dödsfall var påkörningshastigheten känd. Påkörningshastigheten uppskattades utifrån polisuppgifter.

2.2.1.2 Resultat

I rapporten från American Automobile Association, Washington, presenterar Yaksich (1964) olycksfördelning i 5 km/h-intervall, tabell 3.

Tabell 3. Olycksfördelning uppdelat på uppskattad hastighet (Yaksich 1964)

Påkörningshastighet (km/h)	Antal	Andel dödsolyckor (%)
0-8	210	2
8-16	108	5
16-24	76	7
24-32	46	22
32-40	32	25
40-48	15	40
48-56	10	80
56-64	1	100

2.2.1.3 Brister i material

Olycksmaterialet innehåller en stor andel äldre fotgängare då syftet med denna studie var att belysa och beskriva äldres risk i trafiken. St. Petersburg, Florida, där olyckorna inträffade, valdes just på grund av att staden är en ovanligt stor andel invånare över 65 år (25 % jämfört med 8,8 % av USA totala population). Bristfällig metodbeskrivning för hur påkörningshastigheten uppskattades.

2.2.1.4 Studier baserade på Yaksich-data

Studier som berör fotgängares risk i trafiken refererar ofta till en riskkurva som presenterades i Teichgräber (1983). Riskkurvan visar ungefär 60 % dödsrisk vid 50 km/h. Artikeln innehåller dock ingen egen analys av fotgängarolyckor utan hänvisar endas till en tidigare studie "Jahresbericht 1976 der Schweizerischen Beratungsstelle für Schadenverhütung, Bern". Efterforskningar tyder på att riskkurvan bygger på data från Yaksich (1964).

2.2.2 Brittisk data 1966-1979

En forskargrupp i Birmingham har publicerat ett flertal studier baserade på data direkt från olycksplatsen (Ashton, m fl. 1977, Ashton och Mackay 1979, Ashton 1980). Olyckorna

inträffade under åren 1966-79. Då studien är välciterad och att datamaterialet används i två andra ingående studier redovisas metod, resultat och brister utförligt.

2.2.2.1 Metod och material

Publikationerna bygger på data insamlat av ett forskningsteam som åkte ut till alla fotgängarolyckor som rapporterades till polisen i området kring Birmingham. Mätningar samt intervjuer med förare/fotgängare utfördes direkt på plats. Position av fotgängare och bil efter krock samt andra spår såsom bromsspår mättes och fotograferades. Även uppskattning av friktionskoefficienten gjordes och ibland utfördes dessutom bromsprov på plats. Dessa uppgifter användes därefter till att uppskatta påkörningshastighet. Uppgifter kring fotgängarens skador kompletterades med hjälp av sjukhusuppgifter och/eller frågeformulär. I databasen ingår alla fotgängarolyckor som kom polisen till kännedom i Birmingham under åren 1966–1979. Under åren 1966–69 ingår även olycksmaterial från Worcestershire.

Forskargruppen har publicerat flera artiklar som berör ämnet (Ashton, m fl. 1977, Ashton och Mackay 1979, Ashton 1980). I den första studien ingick total 336 olyckor med fotgängare varav 208 fall med uppskattad påkörningshastighet (Ashton, m fl. 1977). De olyckor som involverade mer än ett fordon samt de olyckor där personskadan var okänd exkluderades (total 23 olyckor). I vissa analyser används endast de olyckor där fotgängaren träffades av fordonets front. Datamaterialet innehåller alla ålderstrafikanter (0-89 år). Personskadorna är klassade enligt brittiska nationella klassningen: lindrigt (AIS1), svår och död (inom 30 dagar efter olyckan) samt att de är klassade enligt AIS (Abbreviated Injury Scale). I en uppföljningsstudie kompletteras de 208 fallen med uppskattad påkörningshastighet med ytterligare 150 fall (Ashton 1980). Av dessa 358 fall var 81 dödsolyckor (23 %).

Urvalet är något skevt då det innehåller fler allvarliga olyckor jämfört med nationell statistik. Andelen dödade är 20 % i Ashton m fl (1977) och 23 % i Ashton (1980) jämfört 3,5 % i den nationella statistiken. I materialet ingår 45 % barn (-14 år), 30 % 15-59 år och 25 % i åldersgruppen >60 år. Detta innebär att antalet olyckor med lindrigt skadade är underrepresenterade samt att andelen äldre fotgängare är något högre än både andelen fotgängarolyckor i Birmingham samt nationell statistik från samma år. Ashton et al (1977) poängterar brister i materialet *“Care must be taken in interpreting these results, and in particular the results cannot be used directly to make statements about the general nature of pedestrian accidents as the sample is not a representative sample; it being biased towards the severe end of the accident spectrum. One effect of this is to increase the percentage of the more serious injury cases in each speed band and thus statements that a certain percentage in a specified speed band sustain a given severity of injury only apply to the sample and not to the total population of accidents.”* (Ashton m fl, 1977, sidan 5). Även i den senare skriften (Ashton 1980) poängterar Ashton att materialet är skevt i förhållande till den nationella statistiken.

Uppskattning av påkörningshastighet

I studien uppskattades påkörningshastigheten utifrån följande parametrar:

- 1) Träffpunkten bestämd utifrån fynd på olycksplatsen (ex material från sko)
 - Om inte träffpunkten var känd uppskattades en position och utifrån den gavs en nedre och övre gräns av påkörningshastigheten
- 2) Fordonets bromsspår

- Om inga bromsspår fanns uppskattades ändå påkörningshastigheten men med ett större spridningsmått
- 3) kastavstånd
 - Om fordonet bromsade under påkörningen användes även ”kastavstånd” som vägledning för att uppskatta påkörningshastigheten
- 4) I vissa fall användes även vittnesuppgifter för att bestämma utgångshastigheten

2.2.2.2 Resultat

Inga riskkurvor presenterades i artiklarna från forskargruppen i Birmingham (Ashton, m fl. 1977, Ashton och Mackay 1979, Ashton 1980). Däremot visar Ashton och Mackay (1979) den kumulativa fördelningen av olyckorna i studien; hälften av alla olyckor hade inträffat vid en påkörningshastighet av 20-25 km/h. Om endast svårt skadade och dödade inkluderas inträffade hälften av olyckorna under 35 km/h respektive 50 km/h. Första dödsfallet inträffade vid 20 km/h medan den sista lindrigt skadade skedde vid 55 km/h. Dessutom visade Ashton och Mackay (1979) fördelningen av lindrigt, svårt skadade och dödade i förhållande till nationell statistik. Andelen olyckor i de olika påkörningshastighetsspannen redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Totala andelen skadade och dödade

Påkörningshastighet (km/h)	Antal	Lindrigt skadad	Svårt skadad	död
0-10	17	17		
11-20	29	24	5	
21-30	95	39	49	7
31-40	80	22	55	3
41-50	68	7	38	23
51-60	44	3	17	24
61-70	14		1	13
71+	11			11
Totalt	358	102	165	81

Källa: (Ashton 1980)

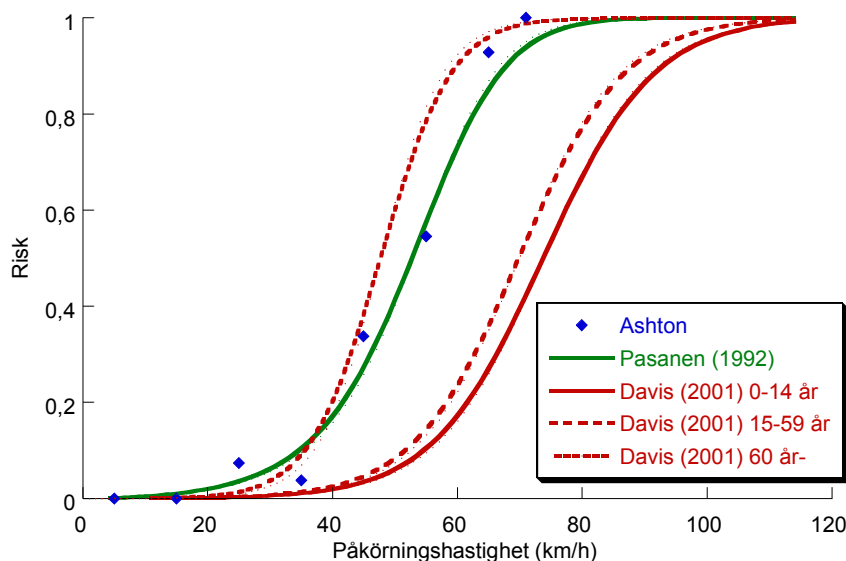
2.2.2.3 Brister i material

I de publicerade artiklarna från forskargruppen vid Birmingham universitet framgår det tydligt att materialet inte speglar hela populationen då databasen innehåller fler allvarliga olyckor jämfört med nationell statistik (se stycke 2.2.2.1). Även andelen äldre fotgängare är något högre än både andelen fotgängarolyckor i Birmingham och nationell statistik från samma år. Vidare bygger uppskattningen av påkörningshastighet på analyser av bromsspår, vittnesuppgifter och kaströrelse. Det är svårt att göra någon bedömning av noggrannhet i hastighetsuppskattningen då det inte framgår någon fördelning mellan de olika metoderna som användes.

2.2.2.4 Studier baserade på brittisk data

Pasanen (1992) utgick ifrån brittiska data publicerat i Ashton (1980) och tog fram en riskkurva genom att använda regressionsanalys, figur 2. Riskkurvan visar att vid kollisionshastigheter under 15 km/h är dödsrisken låg. Risken ökar snabbt och vid kollisionshastigheter över 80 km/h är risken närmare 100 %. Resultatet visar att en påkörningshastighet av 50 km/h ökar risken hela åtta gånger jämfört med 30 km/h (5 % risk vid 30 km/h till 40 % risk vid 50 km/h). Pasanen har ej haft tillgång till ursprungsdata utan analysen bygger data där påkörningshastigheten är angiven i 10 km/h-intervall. Vidare har Pasanen utgått från oviktat material som ej tar hänsyn till skillnaden mellan insamlade data och nationell statistik.

Resultat från den brittiska studien (Ashton 1980) har vidare analyserats av Davis (2001). Till skillnad från Pasanen har Davis viktat grundmaterialet så att proportionerna av lindrigt, svårt skadade och dödade stämde överrens med nationell statistik från 1976. Detta för att få fram mer representativa riskkurvor. Davis har dessutom delat upp materialet med avseende på ålder (0-14 år, 15-59 år och 60 år-) och fann att risken för att dö vid låga påkörningshastigheter är betydligt högre för fotgängare i åldersgruppen >60 år. Riskkurvan för fotgängare i åldersgruppen >60 år överrensstämmer relativt bra med Pasanens (1992) riskkurva. Riskkurvorna för de övriga grupperna visar betydligt lägre risk. Vid påkörningshastighet 50 km/h är risken endast 7 % för fotgängare i gruppen 15-59 år. Precis som i Pasanen (1992) har Davis utgått från uppgifter direkt från Ashton (1980). Detta medför att påkörningshastighetens noggrannhet endast finns angiven i 10 km/h-intervall.



Figur 2. Riskkurvor baserade på brittiskt material där Ashtons data jämförs med riskkurvor av Pasanen och Davis. Endast Davis riskkurvor är viktade och kompenserade för skillnad mellan antalet skadade och dödade i djupstudiematerialet och nationell statistik.

Vidare har materialet från Ashton och Mackay (1979) används av Neal-Sturgess m fl (2002). I deras studie anpassar de riskkurvor utifrån kvadratiska och kubiska polynom. Riskkurvorna är mycket branta och når redan en 100 % risk att dö vid 60 km/h. Dessa riskkurvor stämmer dåligt överrens med grunddata från Ashton och Mackay (1979) där det förekommer fotgängare som överlevde vid påkörningshastigheter över 60 km/h.

2.2.3 Amerikansk data 1977-1980

På uppdrag av NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) utfördes en fotgängarstudie sk Pedestrian Injury Causation Study (PICS) under åren 1977–1980 med syftet var att förbättra trafiksituationen för fotgängare i USA.

2.2.3.1 Metod och material

Närmare 2000 polisrapporterade fotgängarolyckor i områden kring Buffalo, Palo Alto, Los Angeles, San Antonio och Washington ingår i databasen (Pitt, m fl. 1990, Jarrett och Saul 1998). Olyckorna samlades in utifrån ett randomiserat urval av icke dödliga fotgängarskador och alla dödsolyckor. De dödsolyckor som inträffade i Los Angeles ingick även i det randomiserat urvalet.

Pitt m fl (1990) använde delar av denna databas, PICS, för att studera fotgängare under 20 år och deras risk för att skadas med avseende på bl a påkörningshastighet. Urvalet som ingår i studien innefattar 1035 olyckor som inträffade inom tätbebyggt område. Över 60 % av fotgängarna var under 10 år. De icke dödande fotgängarskadorna viktades för att bli representativt i förhållande till nationell data. Alla fotgängare med ett ISS-värde (Injury Severity Score) av 16 eller högre samt alla dödade klassades som allvarligt skadade. I 469 olyckor fanns det tillgång till påkörningshastighet, se tabell 5. Det framgår dock inte hur påkörningshastigheten är uppskattad.

Tabell 5. Fotgängarolyckor uppdelat utifrån påkörningshastighet

Påkörningshastighet (km/h)	Antal
0-14	26
15-30	102
30-47	245
48-63	75
64-105	21
Totalt	469

2.2.3.2 Resultat

Ingen riskkurva presenterades i Pitt m fl (1990). Däremot användes regressionsanalys för att visa risken att dö eller skadas allvarligt. Analysen visar att risken ökade markant vid en påkörningshastighet vid 40-65 km/h för fotgängare under 20 år. Risken att skadas allvarligt i hastighetsspannet 10-19 km/h har i analysen satts till 1. Den ökade risken i hastighetsintervallet 30-39 km/h är över 7 gånger och i intervallet 40-65 km/h är över 30 gånger jämfört med 10-19 km/h. Konfidensintervallen tyder dock på stor osäkerhet.

2.2.3.3 Brister i materialet

I studien ingår alla fotgängare under 20 år. Detta innebär att över 60 % av alla fotgängare är under 10 år. Det finns inga uppgifter om hur ålderfördelningen är i sub-urvalet med uppskattad påkörningshastighet. I 80 % av olyckorna inträffade vid en påkörningshastighet av 45 km/h eller lägre. Studien visar en ökad risk vid högre hastigheter. Riskökningen är dock osäker då konfidensintervallen är mycket stora. Dessutom framgår det inte hur påkörningshastigheten är uppskattad.

2.2.4 Schweizisk data 1978-1981

För att studera effekten av en hastighetsminskning från 60 km/h till 50 km/h på gator i Zürich jämfördes andelen fotgängarolyckor under två år (1978 och 1981) (Walz, m fl. 1983).

2.2.4.1 Metod och material

Totalt ingick 946 fotgängarolyckor inom Zürich statspolisdistrikt. I dessa fall fanns det tillgång till en polisrapport innehållande information kring olyckan, fordon, förar- och fotgängaruppgifter. Vid allvarliga personskador utfördes analyser kring händelseförloppet med hjälp av skalade kartor över olycksplatsen baserade på fotogrammetriska mätningar. Detta kompletterades med data från medicinska journaler/obduktionsprotokoll, intervjuer och analyser av skador på bilen. Personskadorna kodades enligt Abbreviated Injury Scale (AIS) och Injury Severity Score (ISS).

Utav de 946 olyckorna som ingick i den schweiziska studien gjordes en mer ingående analys av 66 olyckor. I dessa fall utfördes en mer detaljerad undersökning och beräkningar av påkörningshastighet för att kunna uppskatta medelvärde för ISS-värde vid olika påkörningshastigheter. I 56 fall var det möjligt att beräkna påkörningshastigheten. Totalt omkom sex fotgängare i detta urval (11 %). I rapporten från IWGAM (1986) framgår det att dessa 56 fall är kraftigt förskjutet mot allvarliga personskador. Bland de 946 olyckorna fick 14 % en personskada klassad AIS3+ jämfört med 53 % av de 56 fallen som ingick i sub-urvalet. De sex dödsfallen som ingick i sub-urvalet redovisas i tabell 6.

Tabell 6. De sex dödsfall som ingick i sub-urvalet av 56 fotgängarolyckor

Påkörningshastighet (km/h)	Ålder	MAIS	ISS
25	76	3	14
35	87	4	34
40	78	3	10
45	38	5	42
45	76	4	34
55	78	4	41

Uppskattning av påkörningshastighet

I 56 fall uppskattades påkörningshastighet utifrån:

- 1) bromsspår
- 2) beräkning av kastavstånd baserat på fotgängarens slutplacering eller fynd från olycksplatsen såsom glasögon, paraply eller bildelar.
- 3) vittnesuppgifter

2.2.4.2 Resultat

Antalet skadade minskade med 20 % då hastighetsgränsen sänktes från 60 km/h till 50 km/h. Reduceringen av personskador klassade som MAIS2 (-34 %) och MAIS5 (-86 %) var signifikant skilda mellan åren 1978 och 1981. Walz m fl (1983) visade att möjligheten att överleva varierade beroende på ISS-nivå; 99 % för ISS 1-10, 87 % för ISS 11-20, 27 % för ISS 21-30 och 7 % för ISS > 30. I de 56 fallen där påkörningshastigheten kunde beräknas inträffade 84 % av fallen vid en påkörningshastighet lägre än 35 km/h. Vid en påkörningshastighet lägre än 25 km/h visade Walz m fl (1983) att endast 1 av 32 fick en skada som resulterade i ett ISS-värde högre än 20. Motsvarande siffror vid hastighet över 25 km/h var 7 av 24. Av alla frakturer inträffade 80 % vid en påkörningshastighet av 25 km/h eller högre. Sambandet mellan personskadenivå (ISS-värde) och påkörande hastighet presenterades i IWGAM-studien (1986).

2.2.4.3 Brister

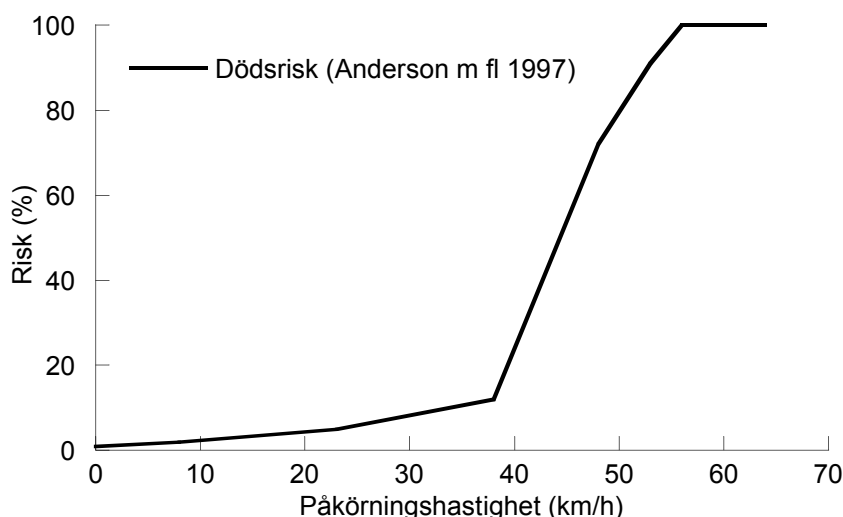
I fotgängarstudier hänvisas det ofta till riskkurvorna i Walz m fl (1983) men faktum är att det inte förekommer någon riskkurva i artikeln. Walz m fl (1983) presenterar däremot överlevnadstal för ett antal olika ISS-nivåer. I rapporten från IWGAM används resultat från Walz m fl (1983) för att studera effekten av påkörningshastighet för olika ISS-värden. Datamaterialet som ligger till grund för den analysen är mycket litet (56 fall varav 6 dödsfall) samt att det är kraftigt skevt mot allvarliga personskador. I sub-urvalet ingår betydligt fler allvarligt skadade än bland det totala urvalet (53 % jämfört med 14 %). Andra faktorer som

kraftigt påverkar resultatet är att 40 % av de inkluderade fotgängarna var över 60 år samt att inga olyckor med en påkörningshastighet över 55 km/h ingår i studien. I 90 % av dödsfallen var fotgängaren över 60 år. Utöver detta finns det brister i studien angående uppskattningen av påkörningshastighet.

2.2.4.4 Analyser baserat på Schweizisk data

Anderson m fl (1995, 1997) presenterar en riskkurva baserat på data från Walz m fl (1983) och IWGAM-studien (1986). Syftet med Andersons studier var att visa vilken effekt reducering av bilars hastighet har på fotgängarolyckor. För att kunna visa hur resultatet skulle påverka antalet skadade och dödade fotgängare krävdes en riskkurva. Denna riskkurva togs fram genom att kombinera resultat från Walz m fl (1983) och IWGAM-studien (1986). Givet en påkörningshastighet framgår det i IWGAM-rapport vilken risk en fotgängare har att drabbas av en personskada baserat på medeltal av ISS-värde. För att beräkna fram riskkurvan kombinerar Anderson m fl (1995, 1997) denna ISS-kurva med sannolikheten att dö vid ett visst ISS-värde som presenterades i Walz m fl (1983).

Resultatet blev en mycket brant riskkurva, figur 3. Vid 50 km/h uppnås en 90 % risk att dö. Mellan intervallet 45 km/h och 55 km/h stiger risken från 60 % till närmare 100 %. Som nämndes i stycket ovan är datamaterialet i Walz m fl (1983) och IWGAM (1986) kraftigt förskjutet mot allvarliga skadade samt att äldre fotgängare var överrepresenterade i urvalet. Anderson poängterar att det finns brister i materialet: "Although the data have acknowledged limitations in application, little alternative data exist". Trots detta för inte författarna någon diskussion kring detta i artikeln. Riskkurvan är mycket bristfällig eftersom den bygger på sub-urvalet i Walz m fl (1983) studie som baseras endast på ett fåtal skadade, 56 st varav 6 döda. Första dödsfallet inträffade vid 25 km/h och sista vid 55 km/h. Ingen av de 56 olyckorna hade en påkörningshastighet över 55 km/h, vilket medför att Walz m fl (1983) och därmed Anderson m fl (1995, 1997) inte kan uttala sig om dödsrisken över denna hastighet.



Figur 3. Riskkurva publicerad av Anderson m fl (1997) baserad på IWGAM och Walz m fl (1983)

Fildes m fl (2004) använder riskkurvan från studien av Andersons m fl (1995, 1997) i deras analys av både dödsolyckor med fotgängare som inträffade i Australien under 1997-1999 och olyckor som inträffade i området kring Hannover, Tyskland under åren 1973-2000. De tyska

olyckorna ingår i Medical University of Hannovers olycksdatabas som utgör en del av den tyska databasen GIDAS (German In-Depth Accident Study).

2.2.5 Amerikansk data 1994-1998

Pedestrian Crash Data Study (PCDS) är en amerikansk databas som innehåller mer än 500 fall med fotgängare inträffade under åren 1994-1998 (Chidester och Isenberg 2001, Lefler och Gabler 2004, Roudsari, m fl. 2006, Dahdah 2008). Databasen innehåller 552 djupstudier av fotgängarolyckor och har bland annat används till att studera vilken inverkan fotgängarens ålder har på skaderisk och dödsrisk, inverkan av fordonstyp och vägmiljö.

2.2.5.1 Metod och material

Databasen innehåller endast de fall där fotgängaren blivit påkörd av ett fordon av nyare modell (årsmodeller 1990-1996). Urvalet av olyckor är därför inte representativt för nationell olycksdata. Endast de som blivit påkörda av bilens front är inkluderade. Fotgängare som låg eller satt ner är exkluderade. Personbilar, SUV, lätt lastbil och minibussar ingår i datamaterialet. I varje skadeakt finns foton, videofilm av olycksplatsen samt 144 olika variabler där bland annat MAIS och påkörningshastighet. Påkörningshastigheten har fastställts via rekonstruktioner av olyckorna.

Henary m fl (2006) använde PCDS-databasen för att studera sambandet ålder och skaderisk. Multipel logistisk regressionsanalys användes för att studera inverkan av ålder, kön, längd, vikt och fordons typ. Påkörningshastighet inkluderades i modellen. Totalt ingick 262 vuxna i åldersgruppen 19-50 år och 90 seniora i åldern >60 år. Vidare visar Dahdah (2008) i sin avhandling riskkurvor som är baserade på fall från PCDS. I hans avhandling ingår totalt 412 fotgängare var av 49 döda.

2.2.5.2 Uppskattning av påkörningshastighet

Information såsom kastavstånd, bromssträcka, stoppsträcka och vägmiljöfaktorer från undersökningen av olycksplatsen ligger till grund för rekonstruktionen av olyckan och därmed uppskattningen av påkörningshastighet.

2.2.5.3 Resultat

Henary m fl (2006) använde PCDS-databasen för att studera vilken inverkan fotgängarens ålder har på skaderisk och dödsrisk. Inga riskkurvor togs fram men däremot presenterade de hur den relativa oddskvoten ökade med ökad påkörningshastighet. Fotgängare >60 år jämfört med övriga vuxna fotgängare (19-50 år) hade både högre medelvärde av ISS (23 jämfört med 16) och att dödligheten var högre (30 % jämfört med 11 %). Vidare hade äldre fotgängare (>60 år) nästan tre gånger högre risk att drabbas av skador likställt med ett ISS-värde >9 samt närmare sju gånger högre dödlighet jämfört med fotgängare 19-50 år.

Medelpåkörningshastigheten (29 km/h) skiljer ej mellan grupperna men däremot är medianen något högre i gruppen fotgängare 19-50 år (24 km/h jämfört med 20 km/h). Samtidigt ligger 75 percentilen något högre i gruppen seniora fotgängare (47 km/h jämfört med 39 km/h). 50 % av alla AIS3+ skador inträffade vid hastigheter under 50 km/h vilket kan jämföras med 62 km/h för fotgängare i gruppen 19-50 år.

Dahdah (2008) har i sin avhandling publicerat riskkurvor för MAIS3+-skada vid en fotgängarolycka med bil. Skaderisken var mer eller mindre konstant vid 16-30 km/h (20 %

risk för MAIS3+) och vid 30-48 km/h (60 %). Därutöver utförde Dahdah (2008) simuleringar för att fastställa risken att skadas.

2.2.5.4 *Brister*

Databasen är ej representativ för fotgängarolyckor i USA då den endast innehåller olyckor med relativt nya fordon. Dessutom ingår fler personbilar och fler olyckor inträffade i tätbebyggt område jämfört med nationell statistik. Vidare innehåller databasen fler svårt skadade än nationella statistiken (12 % jämfört med 6 % under 1994 och 8 % under 1998). Jämfört med FARS (Fatality Analysis Report System) innehåller PCDS färre olyckor med äldre fotgängare.

2.2.5.5 *Övriga amerikanska studier*

Gårder (2004) visar hur fotgängares risk är beroende av hastighetsgräns istället för påkörningshastighet. Genom att studera 1 589 fotgängarolyckor i den amerikanska staten Maine mellan åren 1994-1998. Baserat på dessa fall presenterar Gårder sannolikhet för att dö i en fotgängarolycka beroende på hastighetsgräns.

2.2.6 **Koreansk data 2003-2005**

Under perioden 2003-2005 samlades fotgängarolyckor i Korea in för att studera skadefördelning och dödsrisk samt för att studera skillnaden i skaderisk för fotgängare beroende på fordonstyp (Oh, m fl. 2008, Oh, m fl. 2008).

2.2.6.1 *Metod och material*

Totalt ingick 182 olyckor var av 55 (30 %) dödsfall i Oh m fl. (2008). Studien inkluderar fotgängarolyckor med personbilar, SUV, minibussar, lastbilar och bussar. För att fastställa fotgängares risk användes multipel logistisk regression med påkörningshastighet, ålder på fotgängaren och fordonstyp som förklarande parametrar. I en annan studie av Oh m fl (2008) studerades vilken effekt avancerade fordonssäkerhetssystem såsom aktiv motorhuv sk *active hood lift system*, *AHLS*, skulle ha på personskador vid fotgängarolyckor. I denna studie ingick ett sub-urval av olyckor som inträffade under 2004-2005. Totalt ingick 101 olyckor. Det framgår ej i studien hur stor del av dessa som var dödsolyckor.

Hur urvalet av olyckor görs beskrivs väldigt bristfälligt i de två artiklarna. Urvalet i studien av Oh m fl (2008) är skevt då det innehåller betydligt fler döda jämfört med den nationella statistiken, 30 % jämfört med 5 % (Youn, m fl. 2005). Detta medför att den koreanska databasen är kraftigt förskjuten mot svårt skadade och döda. I de fall där bromsmärken fanns uppmätta genomfördes rekonstruktion för att fastställa påkörningshastighet. Påkörningshastighet, fotgängarens ålder och fordonstyp används som förklarande faktorer i den multipla logistiska regressionsanalysen. I Oh m fl (2008) utförs logistisk regressionsanalys för att studera sambandet mellan HIC och påkörningshastighet. Ingen viktning används i modellerna och därmed kompenserar de inte för att materialet är skevt i förhållande till nationell statistik.

2.2.6.2 *Resultat*

Resultat från Oh m fl (2008) visar relativt hög risk att dö vid låga hastigheter. Risken att dö vid en påkörningshastighet av 50 km/h var enligt den logistiska regressionen 34 %.

2.2.6.3 *Brister*

Det finns ej beskrivet i artiklarna hur urval av olyckor i studierna gjordes. Studierna bygger på relativt litet material (182 respektive 101 olyckor). Urvalet i studien av Oh m fl (2008) är skevt då det innehåller betydligt fler döda jämfört med den nationella statistiken, 30 % jämfört med 5 % (Youn, m fl. 2005). Ingen kompensering görs för detta i den statistiska analysen av data, vilket medför att risken att dö överskattas.

2.2.7 **Brittisk data 2000-2006**

Olycksinsamlingen On The Spot (OTS) pågår sedan 2000 på uppdrag av Department for Transport och Highways Agency i England. Totalt har ca 500 polisrapporterade olyckor samlats i området kring Thames Valley och Nottinghamshire. Ett forskningsteam bestående av 2-3 personer och en polisman åker ut direkt till olycksplats för att samla in data direkt på plats. OTS-teamet täcker in ca 20 % av alla olyckor som sker i området. Delar av materialet innefattar fotgängarolyckor och under 2007 presenterades en fotgängarstudie på detta material (Cuerden, m fl. 2007).

2.2.7.1 *Metod och material*

I studien av Cuerden m fl (2007) ingår totalt 108 fall där en bilist har kört på en fotgängare med bilens front. Olyckorna inträffade mellan åren 2000-2006. Totalt ingick 65 lindrigt skadade, 36 svårt skadade och 7 dödade. Personskadorna kodades både enligt polisens definition (slight (AIS 1), serious och fatal (död inom 30 dagar efter olyckstillfället)) och AIS.

Uppskattning av påkörningshastighet

Uppskattning av påkörningshastighet gjordes utifrån:

- 1) bromsspår och avståndet som fotgängaren kastades
- 2) andra faktorer såsom hastighetsgräns, tänkbar hastighet utifrån förhållanden, islagpunkter och skador på fordonet, vittnesuppgifter, slutsatser från forskningsteamet på plats osv

I studien framgår det att påkörningshastigheten var baserad på uppskattningar utifrån bromsspår och "kastavståndet" i 53 av 108 av fallen.

2.2.7.2 *Resultat*

De sju dödsfall som ingår i studien inträffade vid en påkörningshastighet av 30 km/h eller högre, tabell 7. Totalt ingår fyra fall med en påkörningshastighet av 60 km/h eller högre. Utöver en graf över sannolikheten att skadas baserat på påkörningshastighet visas endast kumulativ fördelning av olyckorna.

Tabell 7. Andelen skadade och dödade vid olika påkörningshastigheter

Påkörningshastighet (km/h)	MAIS1	MAIS2+	Döda	Total
0-10	3	0	0	3
10-20	11	7	0	18
20-30	18	9	0	27
30-40	13	10	1	24
40-50	5	15	3	23
50-60	0	8	1	9
>60	0	2	2	4

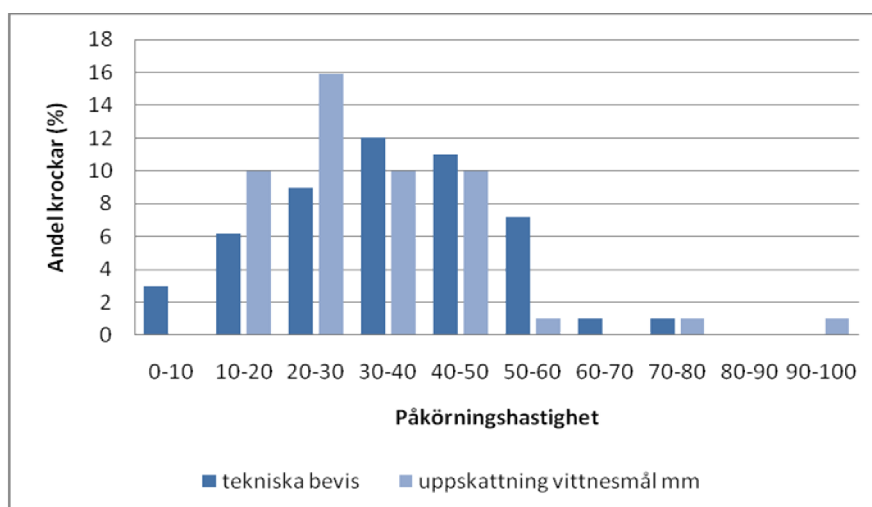
2.2.7.3 Jämförelse mellan Birmingham- och OTS-studien

I studien ingår även analyser där Cuerden m fl (2007) jämför resultat från OTS-databasen med Birminghamstudien (Ashton och Mackay 1979). Medelpåkörningshastigheten för 50:e percentilen i OTS var 30 km/h jämfört med 20-25 km/h i Birminghamstudien. I OTS-studien inträffade MAIS2+-skador och dödsfall vid högre påkörningshastighet än i Birminghamstudien.

2.2.7.4 Brister

OTS-studien innehåller endast 108 fall varav endast 7 dödsfall, vilket medför att det inte är meningsfullt att rita en riskkurva utifrån detta datamaterial. Att analyserna baseras på så få fall medför att jämförelsen mellan Ashton och Mackay (1979) blir osäker. Skillnad i kumulativ fördelning kan bero på slumpmässiga skillnader.

En styrka i studien är att Cuerden m fl (2007) redovisar hur påkörningshastigheten är uppskattad. I närmare hälften av fall (53 av 108) var påkörningshastigheten baserad på tekniska bevis det vill säga uppskattningar utifrån bromspår och ”kastavståndet”. Den uppskattade påkörningshastigheten var högre bland de fall där den var uppskattad utifrån bromspår och ”kastavstånd” än vid uppskattning utifrån hastighetsgräns, skador på bilen och vittnesmål, figur 4.



Figur 4. I 49 % av fallen fall var påkörningshastigheten uppskattningar utifrån tekniska bevis såsom bromspår och kastavstånd

Cuerdens m fl (2007) analys av de fall som ingick i Birmingham studien respektive OTS-studien tyder på att fotgängarskadorna inträffar vid högre påkörningshastighet i OTS-studien. Anledningen kan vara att påkörningshastigheten är överskattad i Cuerden m fl (2007) eller underskattad i Ashton and Mackay (1979). En annan möjlig anledning kan vara skillnad på bilars utformning eller att akutsjukvården har förbättras under de senaste 30 åren och därmed möjligheten att överleva en kollision. Samtidigt kan skillnaden bero på statistisk osäkerhet. Ashton och Mackay (1979) innehåller 34 dödsfall medan endast 7 dödsfall i Cuerden m fl (2007). Dessutom ingår väldigt få olyckor med en påkörningshastighet av 60 km/h eller högre.

2.2.8 Svensk data 1997-2006

Under 2008 genomfördes en studie i Sverige där både fotgängarolyckor och cykelolyckor studerades (Falkenberg 2008). Både data från Umeås Universitet och Vägverkets djupstudier av dödsolyckor användes.

2.2.8.1 Metod och material

Alla olyckor, totalt 108 fall, där fotgängaren sökt vård på Umeå Universitets sjukhus mellan åren 1997-2006 ingick i studien. Dessutom ingick dödsolyckor med fotgängare inkluderade i Vägverkets djupstudiedatabas mellan åren 2004 och 2005.

2.2.8.2 Resultat

Studien visar att 56 % av fotgängarna hade fortfarande sviter av sina skador 1,5 år efter skadetillfället. Genomgång av Vägverkets dödsolyckor visar att 70-80 % dog av skador från huvud och bröst. Endast kumulativ fördelning av MAIS1-, MAIS2- och MAIS3+-skador med avseende på påkörningshastighet presenterades i Falkenberg (2008).

2.2.8.3 Brister

I studien presenteras inga riskkurvor utan kumulativ fördelning av skadorna. Det går därför inte att fastställa risken att skadas utan endast studera vid vilket krockvåld som flest skador sker. En styrka med studien är att Falkenberg gjort uppföljning av personskador med avseende på bestående besvär.

2.2.9 Tysk data 1973-2007

Den tyska databasen GIDAS (German in Depth Accident Study) har används för att studera fotgängarrisk. I databasen ingår olyckor där minst en person blivit skadad och som inträffat inom områden runt Hannover och Dresden (Otte, m fl. 2003). Hannawald och Kauer (2004) utförde en studie för att beräkna effekten av bromsassistans. Vidare har GIDAS-databasen använts för att studera dödsrisk för fotgängare (Rosén, m fl. 2009, Rosén och Sander 2009) samt skaderisk (Rosén, m fl. 2009, Fredriksson, m fl. 2010).

2.2.9.1 Metod och material

Hannawald och Kauer (2004)

Syftet med Hannawald och Kauer (2004) studien var att studera om aktiva bromsningssystem på bilar har effekt på fotgängarolyckor. För att kunna studera effekten av systemet krävdes en riskkurva och därför använde Hannawald och Kauer olycksmaterial från GIDAS-databasen.

Totalt ingick 712st olyckor varav 35 (5 %) dödsolyckor mellan åren 1991 till 2003. Risk för AIS2+ och AIS5+ skada utifrån påkörningshastighet visades genom att använda logistisk regression. I studien likställdes en AIS5+skada med risk att dö.

Rosén och Sander (2009)

Totalt ingick 490 fall varav 36 dödsolyckor (7 %) i Rosén och Sanders studie. Data från åren 1999 till 2007 användes och endast fotgängare 15 år eller äldre ingick i studien. Då GIDAS-databasen innehåller fler svårt skadade och döda än nationell tysk statistik över fortgångaryolyckor viktades datamaterialet för att bättre representera nationell statistik. Följande vikt faktorer användes: $w_{\text{dödlig skada}} = 1$, $w_{\text{allvarlig skada}} = 1,4$ och $w_{\text{lindrig skada}} = 2,8$. Riskkurvor togs fram med hjälp av logistisk regression och ett 95 % konfidensintervall angavs. Inverkan av ålder studerades med hjälp av logistisk regression.

Rosén m fl. (2009)

För att utvärdera effekten av bromsande system använde Rosén m fl (2009) GIDAS material för att studera risken att drabbas av en svår skada i en fotgångaryolycka. Totalt ingick 755 fotgängare varav 38 döda. Riskkurvor för allvarlig skada (MAIS3+) och dödsrisk togs fram med hjälp av logistisk regression på samma sätt som i Rosén och Sanders studie (2009). Riskkurvan för allvarlig skada baserades på ett sub-urval där AIS-klassningen var känd. Totalt 694 fotgängare ingick i denna analys. I 123 fall klassades personskadan som allvarlig (MAIS3+).

Fredriksson m fl. (2010)

Data från åren 1999 till 2008 där en fotgängare blivit påkörd av en personbil eller minibuss användes för att studera skaderisk. Totalt ingick 1030 fall med information kring personskador, fordon och personuppgifter samt där en rekonstruktion av olyckan hade genomförts. Personskadorna studerades utifrån kroppsdel: huvud (huvud inklusive ansikte), bröst (thorax, buk och ryggrad), över och under extremitet. Riskkurvor togs fram med hjälp av logistisk regression för de olika kroppsdelarna. Datamaterialet viktades för att bättre representera nationell tysk statistik (samma vikt faktorer som användes i Rosén och Sander (2009) användes). För att studera risken för att drabbas av en invalidiserande skada användes Folksams riskmatris (Malm, m fl. 2008).

Uppskattning av påkörningshastighet

Påkörningshastigheten uppskattades utifrån:

- 1) Påkörningspunkt och bilens slutpunkt tillsammans med bromsspår/bromssträcka. Hastighetsändringen beräknas med hjälp av förhållandet mellan fotgängarens och bilens massa.
- 2) Kastavstånd
- 3) Om de ovan nämnda uppgifterna ej var kända användes data såsom påkörningspunkt och vittnesuppgifter. För att minska uppskattningsfelet används en analys där alla faktorer (hastighetsgräns och andra vägmiljödata) kombineras för att beräkna en övre gräns

2.2.9.2 Resultat

Hannawald och Kauer (2004)

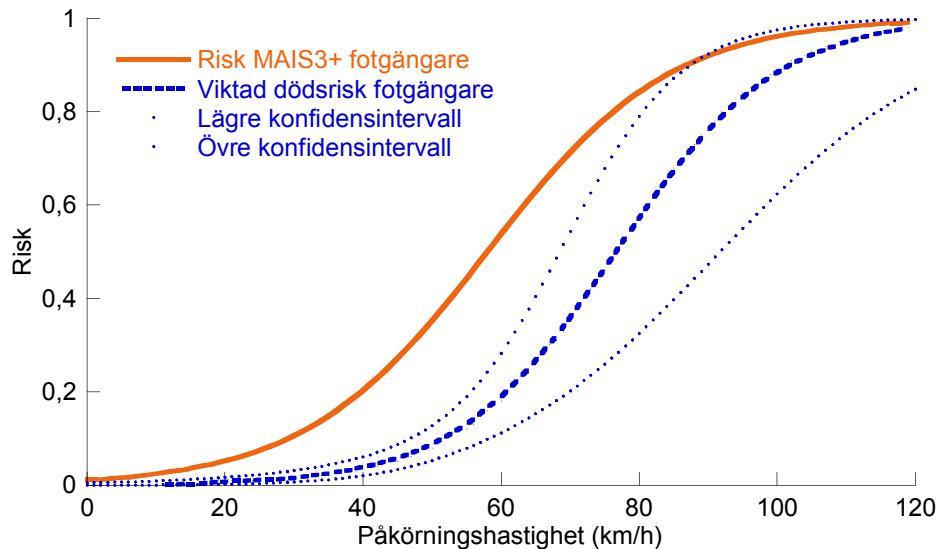
Risken för en MAIS5+-skada var 14 % vid en påkörningshastighet av 50 km/h och 50 % vid 77 km/h. Hannawald och Kauer likställer risken för en MAIS5+ med att dö.

Rosén och Sander (2009)

Studien visar att risken att dö är 8 % vid en påkörningshastighet av 50 km/h (95 % konfidensintervall: 5 till 13 %) och når en 50 % nivå vid 75 km/h (95 % konfidensintervall: 26 till 68 %) (Rosén och Sander 2009), figur 5.

Rosén m fl. (2009)

Risken att skadas allvarligt vid 50 km/h är enligt Rosén mfl (2009) 35 % och når en 50 % nivå vid 60 km/h, figur 5.

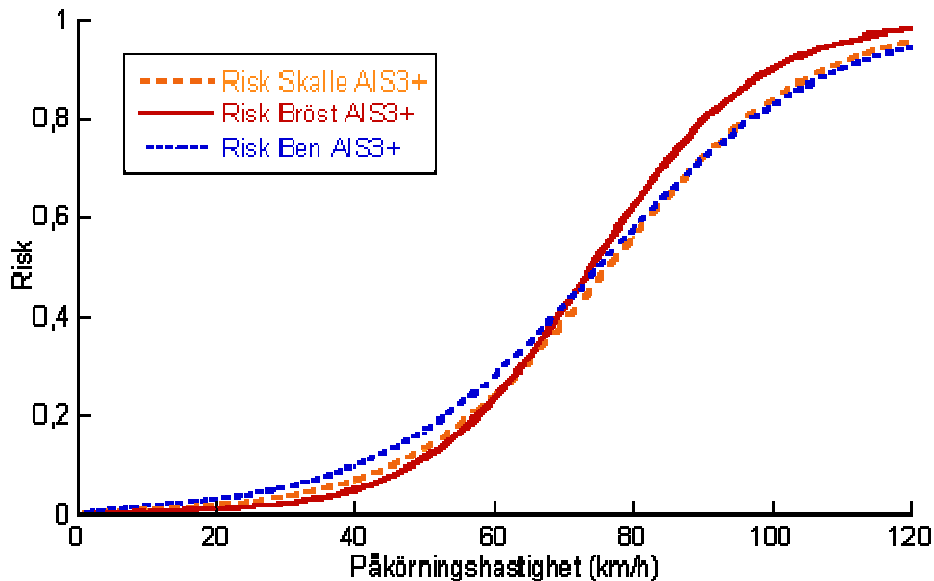


Figur 5. Skade- och dödsrisk (inklusive 95% konfidensintervall) baserat på Rosén m fl (2009) och Rosén och Sander (2009).

Fredriksson m fl. (2010)

Fredriksson m fl (2010) visade att drygt 45 % hade minst en måttlig skada (MAIS2+) och 16 % ledde till en svår skada (MAIS3+). Totalt ingick 48 dödsfall, varav två MAIS2-skador och 43 MAIS3+-skador. Därmed dog 43 av de 161 ådrog sig en MAIS3+-skada. Medelålder för att drabbas av en MAIS2+- och MAIS3+-skada var 42 år respektive 49 år. Medelålder för de som omkom var 57 år. Den vanligaste kroppsdel som skadades vid en allvarlig olycka (MAIS3+-skada) var benen (58 %), därefter huvud- och bröstskador (46 % respektive 15 %). För dessa tre kroppsdelar presenterar Fredriksson m fl logistiska riskkurvor, figur 6. Risken att drabbas av en svår skada vid påkörningshastighet av 50 km/h var enligt dessa riskkurvor 13 % för huvud, 11 % för bröst och 17 % för ben.

Resultatet från Fredriksson m fl visar att risken att drabbas av långvariga besvär (minst 10 % invaliditet) var störst då fotgängaren ådrog sig huvudskador. Analysen visar att totalt 6 % av de som ingick i urvalet riskerade att drabbas av allvarliga besvär. Risken för de som ådrog sig en MAIS2+ skada var 16 % och 39 % för de som ådrog sig en MAIS3+-skada.



Figur 6. Risken att ådra sig en allvarlig skall-, bröst och/eller benskada baserat på tysk data, Fredriksson m fl (2010)

2.2.9.3 Brister

I GIDAS-databasen liksom den tyska nationella statistiken ingår endast fotgängarolyckor där minst en person blivit skadad (Rosén och Sander 2009). Andelen svårt skadade och dödade är dock något högre i GIDAS-materialet jämfört med tysk nationell statistik. Under åren 1999 till 2007 utgjorde andelen dödsolyckor 5 % i GIDAS-materialet jämfört med 2 % i nationell statistik. Andelen lindrigt skadade är underrepresenterade i GIDAS-materialet på grund av urvalskriteriet att olyckan skall komma till polisens eller brandkårens kännedom.

Polisen/brandkåren tillkallas i betydligt lägre utsträckning till olyckor med lindrigt skadade. Anledningen till detta är att djupstudiemetodiken. Kompensering för detta görs genom att skadematerialet viktas (Rosén, m fl. 2009, Rosén och Sander 2009, Fredriksson, m fl. 2010). I Hannawalds och Kauers studie likställs dödsrisk med MAIS5+. Detta är en mycket hög gräns då ett flertal studier har visat att dödfall inträffar vid betydligt lägre skadenivåer (Baker, m fl. 1974, Bull 1975, Baker och O'Neill 1976). I GIDAS-materialet finns, jämfört med övriga studier i denna litteraturstudie, relativt många olyckor (34 fall) i hastigheter över 60 km/h jämfört med tidigare data. Trots detta är konfidensintervallet brett vid hastigheter över 60 km/h.

2.2.10 Kinesisk data 2003-2009

Sedan 2006 utförs djupstudier i Changsha, Hunan provinsen (Kong och Yang 2010). Ett olycksundersökningsteam åker tillsammans med trafikpolis ut direkt till olycksplatsen och samlar in uppgifter kring olyckan.

2.2.10.1 Metod och material

Inklusionskriteriet som används för att studera fotgängarolyckor i Kong och Yangs studie (2010) var olyckor som inträffat mellan åren 2003 och 2009 i tätbebyggt område och där en fotgängare (över 14år) blivit skadad i en olycka med en personbil, SUV eller minibuss där påkörningshastighet var uppskattad. Skadorna kodades enligt AIS 90. Totalt uppfyllde 107 fall i databasen "In-depth Investigation of Vehicle Accidents in Changsha (IVAC) dessa kriterier. Tre

fall exkluderades pga att en fotgängare satt på vägen och att två främst skadades av fallet i backen. Av de resterande 104 fallen ingick 11 dödsfall. Riskkurvor togs fram med hjälp av logistisk regression. Datamaterialet viktades utifrån kinesisk nationellstatistik. I Kina klassas dödsfall då en person har avlidit till följd av olyckan inom sju dagar. Nationellstatistik innehåller fler dödade än IVAC-databasen, tabell 8. Kong och Yangs jämför MAIS3+ i IVAC-data med andelen svårt skadade i den nationella statistiken.

Tabell 8. Fördelning av fotgängare per skadenivå i den kinesiska studien

	Lindrigt skadade/skadade	Svårt skadade	Dödsolyckor
Nationell statistik	75,9 %		24 %
Changsha	68,4 %	12,4 %	19,2 %
IVAC-data	41,3 %	48,1 %	10,6 %

Källa: Kong och Yang 2010

Uppskattning av påkörningshastighet

Påkörningshastigheten uppskattades utifrån:

- 1) Bromsspår/bromssträcka
- 2) Kastavstånd
- 3) Olycksrekonstruktion med hjälp av programvaran MADYMO
- 4) Om de nämnda uppgifterna ej var kända används uppgifter från intervju med föraren, fotgängaren eller vittnen. För att minska uppskattningsfelet jämfördes uppgifterna från dessa tre grupper. Om skillnaden var mer än 10 km/h exkluderades fallet.

2.2.10.2 Resultat

Kong och Yang presenterar både oviktad och viktade riskkurvor där risken att dö var 10-30 % vid en påkörningshastighet av 50 km/h och når en 50 % nivå vid 55-75 km/h. Risken att dö ökar markant vid hastigheter över 35 km/h. I artikeln presenteras även en riskkurva för AIS3+-skador. Risken att drabbas av en AIS3+ är närmare åtta gånger högre vid en påkörningshastighet av 70 km/h än vid 30 km/h. Resultat från studien visar att risken att skadas är beroende av fotgängarens ålder.

2.2.10.3 Brister

Studien baseras på få fall (104 fall varav 11 dödsfall). Viktningen baserat på den kinesiska data bedömas inte representativ. Att 20-25 % av fotgängarna skulle dö vid en olycka med personbil verkar orimligt högt. Andelen svårt skadade var högre i den nationella statistiken jämfört med IVAC-databasen. Anledningen till detta är troligtvis att Kong och Yangs jämför MAIS3+ i IVAC-data med andelen svårt skadade i den nationella statistiken. Bristerna i nationell statistik lyfts fram i diskussionen men samtidigt är det resultat från de viktade riskkurvorna som används i konklusionen. Att Kong och Yang viktat skadematerialet med avseende på den nationella statistiken kan därför medföra att risken att dö överskattas.

Kong och Yang jämför sina resultat med Rosén och Sander (Rosén och Sander 2009) och visar att risken att skadas i Kina är högre. Författarna drar därför slutsatsen att den medicinska vården skulle vara sämre utvecklad i Kina jämfört med Tyskland. Vidare diskuterar författarna att åldersfördelningen av fotgängare i Kina skiljer sig från tysk data. I 60 % av

olyckorna var fotgängaren i åldersgruppen 20-50 år. I den tyska studien utgjorde unga och fotgängare >60 år 40 respektive 20 %. Dessutom påpekar författarna att trafiksituationen skiljer sig från västvärlden då de i Kina har en större mix av olika trafikarter i tätbebyggt område.

3 DISKUSSION

För att beskriva dödsrisk för fotgängare i Sverige används ofta en riskkurva som är baserad på bristfällig data (se exempelvis Johansson (2008) alternativt SKL (2000)). Efterforskningar tyder på att riskkurvan är en kombination av resultat från Walz m fl (1983), Teichgräber (1983) och Ashton (1980). Men varken i studien av Walz m fl (1983) eller Ashton (1980) presenterades några riskkurvor, utan riskkurvor baserade på data från dessa studier har publicerats av Anderson m fl (1995, 1997) respektive Pasanen (1992) och Davis (2001). Som tidigare nämnts härrör riskkurvan som presenteras av Teichgräber (1983) från studien av Yaksich (1964). I litteraturstudien framgår det att dessa tre studier baseras på data som är över 30 år gamla samt att olycksmaterialet är skevt då det innehåller fler svårt skadade och dödade jämfört med nationell statistik. Studierna är därför inte relevanta att använda för att representera dagens skaderisk för fotgängare. Under de senaste 30 åren har exempelvis bildesign och akutvård förändrats.

Vidare framgår det i litteraturstudien att inga riskkurvor presenterades i artiklarna från forskargruppen i Birmingham (Ashton, m fl. 1977, Ashton och Mackay 1979, Ashton 1980). I de fall där det refereras till riskkurva av Ashton (se Carlsson (1998)) är det egentligen Pasanens riskkurva (1992) som åsyftas. Både Pasanen och Davis har publicerat riskkurvor utifrån data från Birminghamstudien. Varken Pasanen (1992) eller Davis (2001) hade dock tillgång till rådata från studien, utan de använde uppgifter direkt från publicerade data i Ashton (1980). Detta medför att påkörningshastighetens noggrannhet endast finns angiven i intervaller om 10 km/h. Davis (2001) analys av Birmingham-data, där han viktar olycksmaterialet för att vara representativt för Storbritannien, är trots detta den studie som är mest lämplig att använda för att studera fotgängares risk i krockar under 1960- och 1970-talet. Den riskkurva som utifrån dagens kunskap är den mest tillförlitliga är den som Rosén och Sander (2009) har presenterat baserat på tysk olycksstatistik mellan åren 1999-2007. I studien ingår ett relativt stort antal fotgängarolyckor (490 fall var av 36 dödsolyckor) som har viktats för att vara representativt för Tyskland.

Riktlinjer för att undvika personskador är enligt Nollvisionens filosofi att fordons hastighet bör begränsas till 30 km/h i områden där främst fotgängare vistas (SKL 2000). Detta för att minimera risken för kollision mellan oskyddade trafikanter och motorfordon. Vid denna hastighet är möjligheten att upptäcka en fotgängare i god tid hög samt att risken att skadas vid en eventuell olycka låg. Även om litteraturstudien i denna rapport visar att dödsrisken är lägre i studier publicerade på senare tid (Davis 2001, Hannawald och Kauer 2004, Rosén, m fl. 2009, Rosén och Sander 2009) än man tidigare befarat (Pasanen 1992, Anderson, m fl. 1995, Anderson, m fl. 1997) ökar risken att dö markant vid hastigheter över 40 km/h. Dessutom är risken för allvarlig skada 10 % vid en hastighet av 30 km/h. Det verkar därför rimligt att behålla dessa riktlinjer för utformning av trafikmiljöer.

3.1 SVÅR SKADA

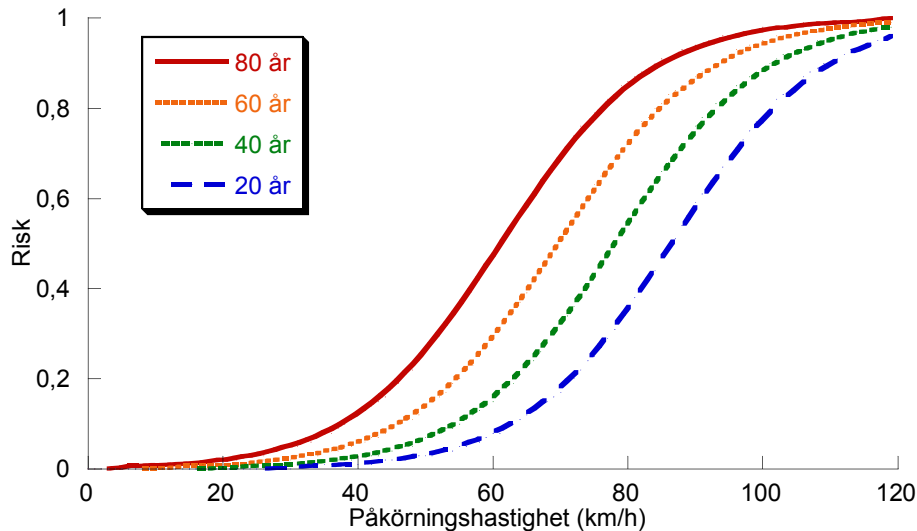
Nollvisionens utgångspunkt är att vägtransportsystemet skall utformas och dimensioneras utifrån risk för död och svår skada. Det är först under 2009 som begreppet svår skada har

definierats som risk för skada som leder till någon form av hälsoförlust. På senare år har därför fokus skiftats från att fokusera på dödsolyckor och olyckor med svårt skadade till att förhindra olyckor med personskador som leder till invaliditet. Fredriksson m fl (2010) är en av de få artiklar där riskkurvor för allvarliga skador (MAIS3+) har presenterats. Uppdelat på kroppsdel var risken att drabbas av en allvarlig skada vid låga påkörningshastigheter högst för ben. Fredrikssons och Roséns studie visar att risken att drabbas av långvariga besvär var högst för de fotgängare som ådrog sig huvudskador. Svensk data tyder på att över hälften av alla skadade fotgängare som uppsöker sjukhus lider av fysiska besvär 1,5 år efter olyckan (Falkenberg 2008). Att många av djupstudiedatabaserna innehåller främst svårt skadade och döda medför problem att kunna fastställa riktlinjer och tänkbara toleransnivåer för att undvika skador som leder till hälsoförlust. Ett flertal studier visar att även AIS1- och AIS2-skador i relativt stor utsträckning leder till hälsoförlust (Nygren 1984, Norin, m fl. 1997, Malm, m fl. 2008). Denna typ av information är viktig för systemutformare såsom Trafikverket men även för exempelvis biltillverkare för att kunna optimera säkerhetssystem i bilar. Ytterligare forskning som fokuserar på olyckor som leder till invaliditet behövs därför, snarare än att studera fler dödsolyckor.

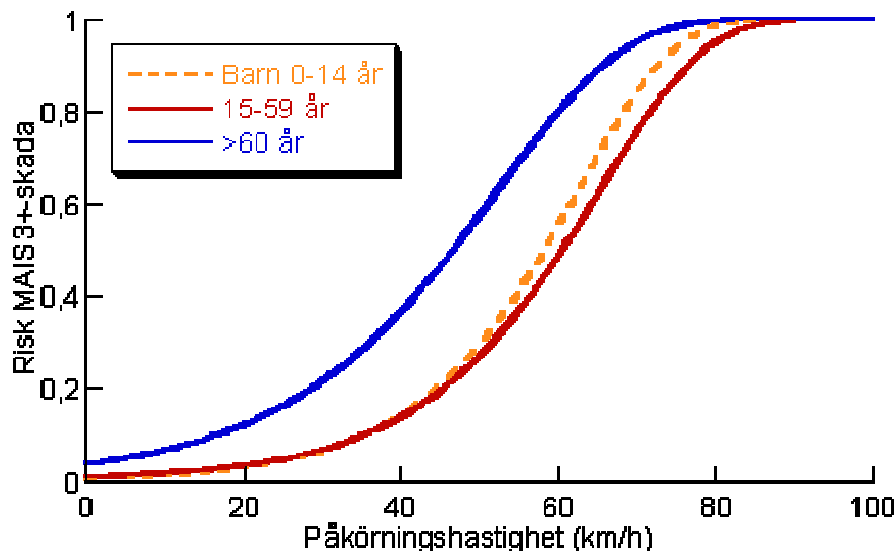
3.2 INVERKAN AV ÅLDER

Ett flertal studier har tidigare visat att både skaderisk och dödsrisk korrelerar med ålder (Peng och Bongard 1999, Davis 2001, Henary, m fl. 2006). Peng och Bongard (1999) visade att risken att få ett högt Injury Severity Score, ISS, (12,3 jämfört med 8,9) och risken att dö (28 % jämfört med 8 %) i en fotgängarolycka med ett motorfordon var högre bland äldre (≥ 66 år) jämfört med övriga vuxna (15-65 år). Vidare visade Henary m fl (2006) att äldre fotgängare (>60 år) hade nästan tre gånger högre risk att drabbas av skador likställt med ett ISS-värde >9 samt närmare sju gånger högre dödlighet jämfört med fotgängare 19-50 år. Ett flertal studier som studerat sambandet mellan skaderisk och påkörningshastighet visar resultat som tyder på att äldre skadas och dödas vid betydligt lägre hastigheter än övriga (Yaksich 1964, Walz, m fl. 1983, Davis 2001, Kong och Yang 2010). Rosén och Sander (2009) fann att ålder var en viktig riskfaktor och inkluderade därför både påkörningshastighet och ålder som förklarande variabler i riskfunktionen, figur 7. Den valda regressionsanalysen medför att riskkurvorna för olika åldrar parallellförskjuts åt vänster med ökad ålder. Det är dock rimligt att anta att även lutningen på riskkurvan är olika för olika åldrar på grund av att spridningen i skadetoleransnivå ökar med ökad ålder. Davis (2001) är dock den ende, enligt författarnas vetskap, som har presenterat tillförlitliga dödsriskkurvor med avseende på fotgängarens ålder. De i åldersgruppen >60 år löper en högre risk att dö vid lägre hastigheter än övriga fotgängare, figur 2. Fredriksson m fl (2010) poängterar att ålder är en viktig parameter för skaderisk men de presenterar dock endast generella riskkurvor för MAIS3+-skador, figur 5 och figur 6.

De studier som utifrån dagens kunskap är de mest tillförlitliga presenterar ej separata riskkurvor för äldre fotgängare (Rosén, m fl. 2009, Rosén och Sander 2009, Fredriksson, m fl. 2010). För att kunna bedöma äldre fotgängares risk i trafiken har Rosén därför vidare analyserat GIDAS-materialet utifrån ålder (Rosén 2010). Analysen tyder på att äldre (fotgängare >60 år) löper en betydligt högre risk än barn (0-14 år) och övriga vuxna (15-59 år) att drabbas av en svår skada (MAIS3+), figur 8.



Figur 7. Dödsrisk med avseende på fotgängarens ålder (Rosén 2010).



Figur 8. Risken för svår skada, MAIS3+, med avseende på ålder (Rosén 2010)

3.3 VIKTEN AV REPRESENTATIV EXPONERING

För att få en bra uppskattning av risken att skadas eller dö vid en olycka krävs uppgifter om exponeringen, det vill säga hur många som är utsatta för faran. Alla fotgängarstudier som ingår i denna litteraturstudie bygger på olycksdata från databaser som innehåller fler svårt skadade och dödade jämfört med nationell statistik. Detta medför att antalet olyckor med lindrigt skadade är underrepresenterade och följderna av detta blir att risken att skadas överskattas. Ett möjligt sätt att kompensera för detta är att vikta materialet utifrån nationell statistik. Detta ställer dock krav på att den nationella statistiken är tillförlitlig och att viktningen görs på ett rimligt sätt. Amorós m fl (2007) visade att polisen generellt överskattar svårhetsgraden på fotgängares personskador i 20-40 % av fallen. Det innebär att viktningen lätt kan bli skev om man utgår från nationell statistik som är baserad på polisrapporterade olyckor. I de studier som ingår i denna litteraturstudie har Davis (2001), Rosén och Sander (2009) och Kong och Yang (2010) använt viktning av materialet vid den statistiska analysen. Viktningen som används i den kinesiska

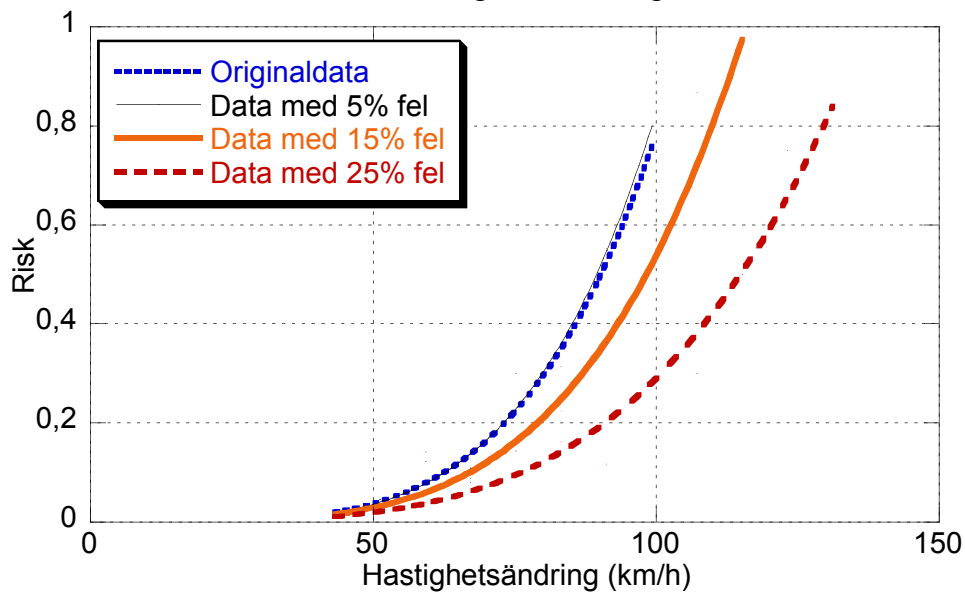
studien av Kong och Yang (2010) tyder på brister i den nationella statistiken. Enligt den nationella statistiken från Kina omkommer närmare 25 % av alla fotgängarna.

I länders nationella statistik som ofta bygger på polisrapporterade trafikolyckor är antalet lindrigt skadade generellt kraftigt underrepresenterade (Amoros m fl. 2006). Rapporteringen kan dock skilja mellan olika trafikantgrupper. Troligtvis är även lindrigt skadade fotgängare underrepresenterade och därför kan man anta att risken att skadas är överskattad vid påkörning i låga hastigheter. I högre hastigheter torde flertalet skador rapporteras, vilket innebär att risken där är mer korrekt uppskattad. Osäkerheten i riskkurvor vid höga hastigheter beror därför snarare på få olyckor än på underrapportering. För samtliga datamaterial i denna sammanställning ingår endast ett fåtal påkörningar i höga hastigheter. För att kunna bedöma studiens statistiska osäkerhet bör därför konfidensintervall anges. Endast i studien av Rosén och Sander (2009) redovisas detta. Konfidensintervallet i Rosén och Sanders studie är relativt brett vid hastigheter över 60 km/h, vilket tyder på hög osäkerhet i riskskattningen i detta hastighetsområde. Detta trots relativt många olyckor (34 fall) i hastigheter över 60 km/h. Totalt bygger Rosén och Sanders studie på 490 fall varav 36 dödsolyckor. Många av de studier som ingår i litteraturstudien har betydligt lägre antal inkluderade fall (30-100), vilket innebär att osäkerheten i riskskattningen är stor eller till och med mycket stor i dessa studier.

För att studierna skall vara representativa krävs dessutom att urvalet överrensstämmer med populationen. I studierna av Yaksich (1964) och Walz m fl (1984) utgör exempelvis olyckor med äldre fotgängare en allt för stor andel av de ingående olyckorna. Syftet med den amerikanska studien av Yaksich (1964) var just att studera äldre fotgängares risk i trafiken. Ett annat vanligt fenomen är att ett flertal av de ingående studierna enbart tittar på fotgängareolyckor i tätbebyggt område. Detta medför att resultat från dessa studier inte är applicerbara på alla hastigheter. Vidare kan urvalet vara skevt såsom i den amerikanska databasen PCDS där exempelvis endast nya bilmodeller ingår i materialet. Alla dessa faktorer är viktiga att beakta vid användning av resultat.

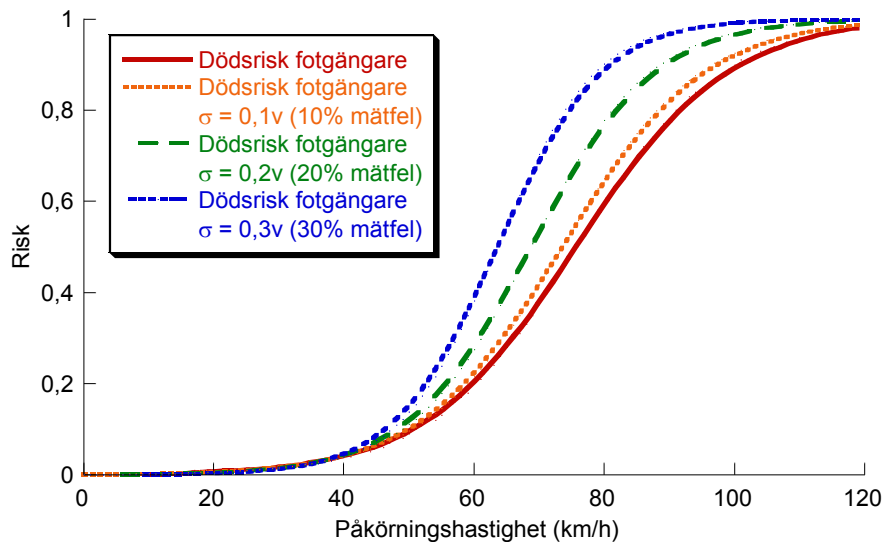
3.4 INVERKAN AV MÄTFEL

Som nämns i introduktionen är det mycket svårt att uppskatta påkörningshastigheten i en fotgängarolycka och det krävs en mycket detaljerad olycksutredning på plats för att senare kunna rekonstruera olyckan (Eubanks och Haight 1992). Endast i en av de ingående studierna (Cuerden, m fl. 2007) redovisas andelen fall som bygger på analyser av tekniska bevis. Detta medför att det är svårt att bedöma noggrannheten av uppskattad påkörningshastighet i de övriga studierna. Brister i olycksdata medför att rekonstruktionen tvingas bygga på antaganden och resultatet blir då bristfälligt. Detta medför i sin tur att riskkurvan får ett flackare utseende, risken underskattas vid höga påkörningshastigheter och överskattas något vid låga hastigheter. Studier har visat att påverkan kan vara betydlig redan vid slumpmässiga fel på 15 % och är felen större än 25 % blir påverkan påtaglig (Kullgren och Lie 1998). Skillnader mellan olika metoder för att fastställa påkörningshastigheten har studerats av Depriester m fl (2005).



Figur 9. Uppskattning av mätfel (Kullgren och Lie 1998)

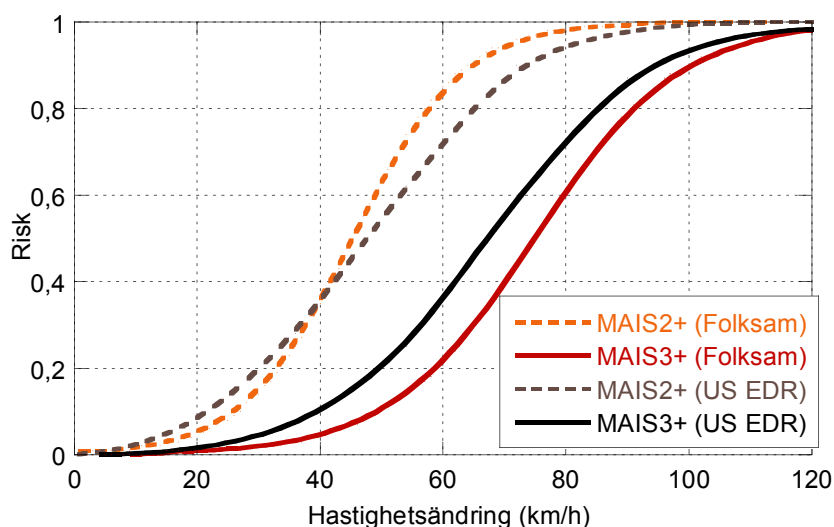
Trots systematiska och slumpmässiga fel vid beräkning eller uppskattning av påkörningshastigheten vid en fotgängarolycka tyder alla studier på ett starkt samband mellan påkörningshastighet och skade/dödsrisk. Ett flertal studier har visat samband mellan skaderisk och krockvåld i bilolyckor. I en bilkollision är det dock betydligt lättare att uppskatta krockvåldet, men även här blir det ofta stora fel. Ett flertal studier har gjorts för att studera skillnader mellan uppskattat eller beräknad hastighet och verklig krockhastighet. Generellt görs alltid en systematisk underskattning av krockhastigheterna, även om man under senare år lyckats minska dessa. Men fortfarande får man slumpmässiga fel i storleksordningen 10-20 % (Kullgren 1998). Vid mätfel kommer riskkurvan att falla mer och mer ju större mätfel, figur 9. Det finns skäl att anta att felen i uppskattningar av påkörningshastigheten i fotgängarkrockar är minst lika stora som de vid bil krockar. För att studera inverkan av slumpmässiga fel i GIDAS-materialet användes SIMulation-Extrapolation (SIMEX) (Rosén och Sander 2010). Analys av slumpmässiga fel tyder dock på att riskkurvan påverkas mycket lite vid låga påkörningshastigheter (<50 km/h). Vidare visar analysen att risken att dö vid höga påkörningshastigheter troligtvis är något högre än vad den riskkurva som redovisas i Rosen och Sander (2009) visar. Standardavvikelsen hos det slumpmässiga felet i GIDAS-materialet uppskattas av Rosén och Sander (2010) till mindre än 15 % av den sanna påkörningshastigheten. I figur 10 visas inverkan av slumpmässiga fel med standardavvikelse i storleksordningen 10 %, 20 % och 30 %.



Figur 10. Inverkan av slumpmässiga mätfel i dödsriskkurvan publicerad i Rosén och Sander (2009). Uppskattning av mätfel med standardavvikelse 10 %, 20 % och 30 % med hjälp av SIMEX-metoden (Rosén och Sander 2010).

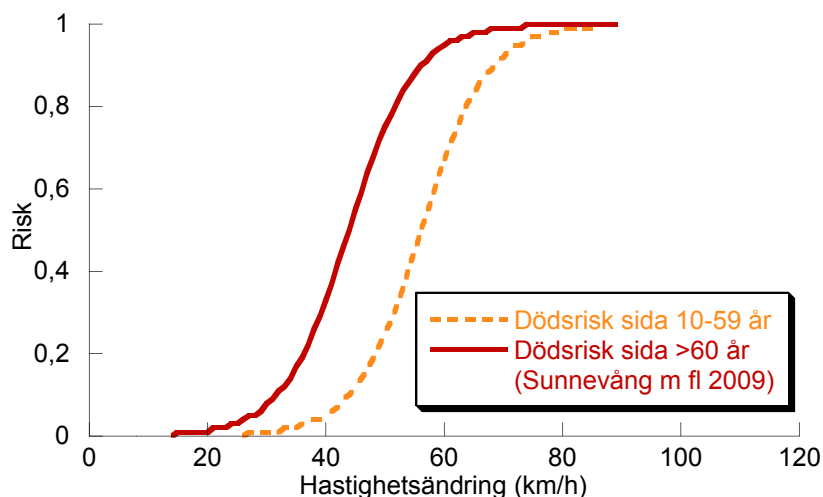
3.5 JÄMFÖRELSE MED ANDRA TRAFIKANTGRUPPER

Krockvåldet i bilkollisioner brukar ofta visas som funktion av hastighetsändringen, delta-V, som är skillnaden mellan bilens hastighet innan krockögonblicket och strax efter. Folksam har sedan 1992 monterat in svarta lådor i över 250 000 bilar, vilket har gjort det möjligt att studera hur acceleration och hastighetsförändring under kollisionen påverkar skaderisken (t ex Kullgren 1998, Kullgren 2008). Det finns även amerikansk data att jämföra med (t ex Gabauer och Gabler 2008). Figur 11 visar risk för måttlig skada (MAIS2+) och risk för svår skada (MAIS3+) i frontala kollisioner baserat på svensk och amerikansk data (Gabauer och Gabler 2008, Kullgren 2008). Risken för svår skada ökar markant vid en hastighetsändring över 50 km/h. En hundra procentig risk uppnås vid en hastighetsändring av drygt 100 km/h.



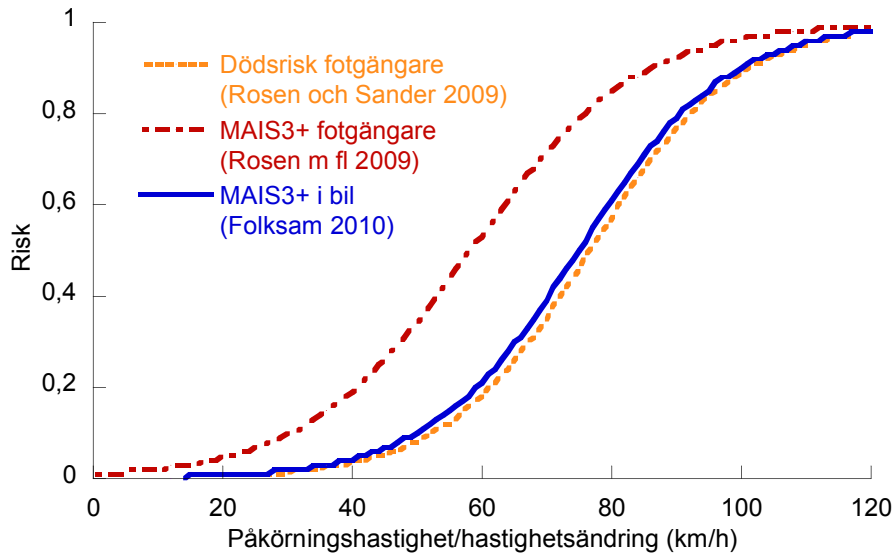
Figur 11. Risk för måttlig skada (MAIS2+) och risk för svår skada (MAIS3+) för bilförare baserat på svensk och amerikansk data (Kullgren 2008 (Folksam), Gabauer och Gabler 2008 (US EDR)).

Vidare har Sunneväng m fl (2008, 2009) studerat risken att skadas och dö i en sidokollision baserat på amerikansk data. I studien analyserades krockar som inträffat i USA mellan åren 1994-2006 och som ingår i djupstudiedatabasen NASS/CDS (National Automotive Sampling System). Endast förare/passagerare äldre än 10 år som satt i en bil från 1980 eller senare inkluderades i studien. Materialet delades upp i två grupper 10-59 år och ≥ 60 år. Materialet viktades för att överrensstämma med nationell statistik. Risken att dö ökar markant då hastighetsändringen överstiger 40 km/h. Precis som i fotgängerstudier fann Sunneväng m fl (2008, 2009) att risken att skadas eller dö var högre hos bilister över 60 år, figur 12.



Figur 12. Personer över 60 år löper en högre risk att dö i en sidokollision i bil jämfört med personer i åldersgruppen 10-59 år, (Sunneväng, m fl. 2009)

Jämför vi skaderisken för olika trafikantgrupper ser vi att fotgängare löper större risk än personer i bil i frontalkollisioner, medan risken för skada i sidokollisioner förefaller vara högre än risken att skadas som fotgängare, figur 12 och 13. Jämförelsen är dock inte riktig eftersom det i ena fallet är påkörningshastighet och i det andra bilens hastighetsändring. För att göra en relevant jämförelse bör man i stället jämföra med påkörningshastighet hos det påkörande fordon i en sidokollision. Ett rimligt antagande, för att bestämma en approximativ påkörningshastighet, är att dubbla hastighetsändringen i sidokollisionerna. Då framgår det att risken för en påkörd fotgängare att dö alltid är högre än för en åkande i bil i en sidokollision.



Figur 13. Jämförelse i risk mellan fotgängare och bilförare.

3.6 RIMLIGHET AV RISKKURVORNAS UTSEENDE

För att bedöma rimligheten av riskkurvorna för fotgängare kan olika jämförelser med andra kända riskkurvor och samband göras. Till exempel bör rimligen risken att skadas som fotgängare vara högre för en given påkörningshastighet än motsvarande risk för åkande i bil. Det framgår också att så är fallet från informationen i figur 12 och 13. Risken att dö som förare i en sidokollision är alltid lägre än risken att dö som fotgängare som nämnts tidigare. Vidare framgår i figur 13 att risken för dödsfall för fotgängare är lika stor som risken att få en MAIS3+ skada som bilförare.

En ytterligare parameter som bör stämma är att riskökningen för en given höjning av krockvåldet bör vara högre ju svårare skada man studerar det vill säga en brantare lutning på riskkurvan. Så är fallet för flera andra trafikantkategorier, t ex för åkande i bil. Så är också fallet i de riskkurvor som studerats i denna rapport. Risken för en dödande skada för fotgängare tilltar dubbelt så mycket som risken för MAIS3+-skada. Detta kan studeras genom att jämföra parametrarna i funktionerna av regressionsanalyserna eller göra en kurvanpassning med en potensfunktion av typ $y=a \cdot x^p$ för intervallet där lutningen är som störst (p visar lutningen), dvs där riskökningen är som störst. För dödsrisk erhålls en potens p på ca 4, medan det för MAIS3+-skada blir drygt 2. Detta ligger i linje med studier av andra trafikantslag (Elvik m fl 2004, Krafft m fl 2009).

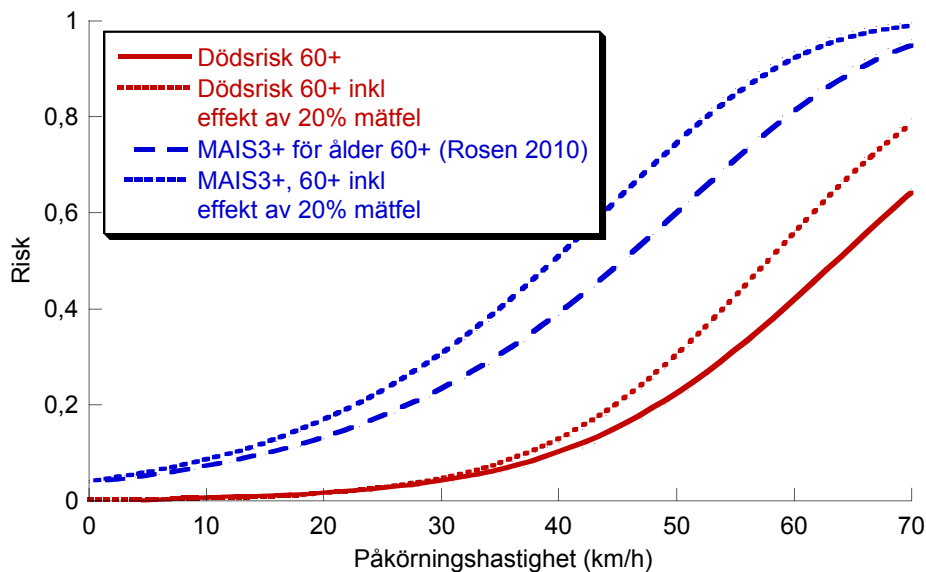
Som nämndes i stycke 3.2 är det rimligt att anta att riskökningen bör också vara mindre för äldre trafikanter än för yngre. Äldre bör ha en större spridning i toleransnivå jämfört med yngre. Detta får till följd att riskkurvan lutar mer. På liknande sätt erhålls en potens p på ca 3 för MAIS3+ 0-14 år, medan det för personer över 60 år blir ca 2, vilket verkar rimligt.

En jämförelse som kan verka förvånande är att lutningen på kurvan för dödsrisk för fotgängare är lika stor som lutningen för MAIS3+-skada i bil, vilket framgår i figur 13. Detta skulle kunna förklaras med att fotgängare får en stor spridning i risk att dödas beroende på träffpunkt på

bilens. Spridningen i dödsrisk blir därför större än för åkande i bil. En annan förklaring kan vara att mätnoggrannheten i datamaterialet med de fotgängarolyckor som använts i studien av Rosén m fl (2009) är lägre än mätnoggrannheten i studien från Folksam (2010) där krockpulsmätare använts för att mäta bilens hastighetsändring. Lägre mätnoggrannhet får riskkurvans lutning av minska (Kullgren och Lie 1998). Det bör dock beaktas att dessa riskkurvor bygger på få fall och därför kan det mycket väl vara en slump att kurvorna har ett så likt utseende.

3.7 UPPSKATTNING AV RISK FÖR ÄLDRE FOTGÄNGARE

Som framgår i texten ovan (stycke 3.2, 3.5 och 3.6) korrelerar både skade- och dödsrisk med ålder. Fotgängare i åldersgruppen över 60 år löper en högre risk att skadas och dö vid lägre hastigheter än övriga fotgängare, se figur 7 och 8. För att kunna uppskatta dödsrisk för denna ålderskategori har riskfunktionen med både påkörningshastighet och ålder som förklarande variabler i Rosén och Sander (2009) använts. I figur 14 visas denna uppskattning av dödsrisk samt effekt av ett genomsnittligt slumpmässigt fel av påkörningshastigheten på ca 20 %. Med beaktande av dessa mätfel blir risken något högre för en given påkörningshastighet än i originalriskkurvorna (Rosén och Sander 2009, Rosén 2010). Riskkurvorna i figur 14 som inkluderar en uppskattad effekt av slumpmässiga mätfel med standardavvikelse i storleksordningen 20 % ligger troligtvis nära den sanna risken.



Figur 14. Uppskattad viktad dödsrisk för fotgängare över 60 år (från Figur 7, Rosén och Sander 2009), viktad risk för MAIS3+ skada för fotgängare äldre än 60 år (från figur 8, Rosen 2010) samt risker inklusive uppskattad effekt av slumpmässiga mätfel med en standardavvikelse på ca 20 %.

3.8 BILENS SKYDDANDE FÖRMÅGA AV FOTGÄNGARE

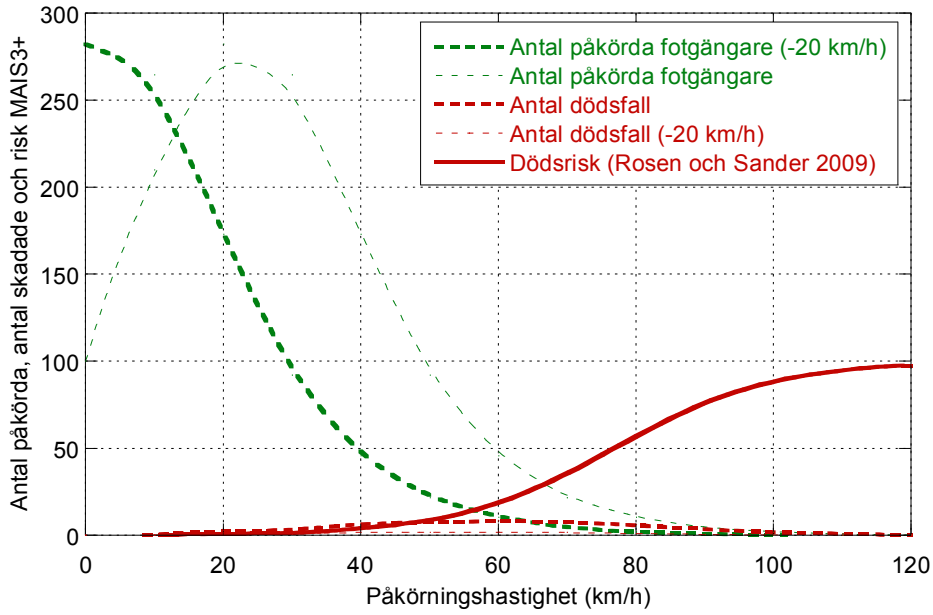
Euro NCAP utför idag krockprov som skall främja utvecklingen av mer fotgängarvänliga bilfronter samt mer effektiva säkerhetssystem. De krockprov som ingår i Euro NCAPs testserie är fokuserade på att utvärdera bilens struktur i front och motorhuv. Krockproven sker i 40 km/h och skall spegla bilens förmåga att skydda fotgängaren från ben- och skallskador. Kunskapen om skyddseffekten hos olika bilmodeller och hos olika fotgängarskydd är dock mycket

begränsad. Studien av Fredriksson m fl (2010) visar att de flesta MAIS3+ skador orsakas av bilens front (benskador) samt framrutan inklusive stolpar (huvudskador). Endast för barn som blir påkörda är motorhuven en orsak till skada (huvudskador). Det är därför viktigt att framöver validera Euro NCAPs testresultat mot verkliga olyckor.

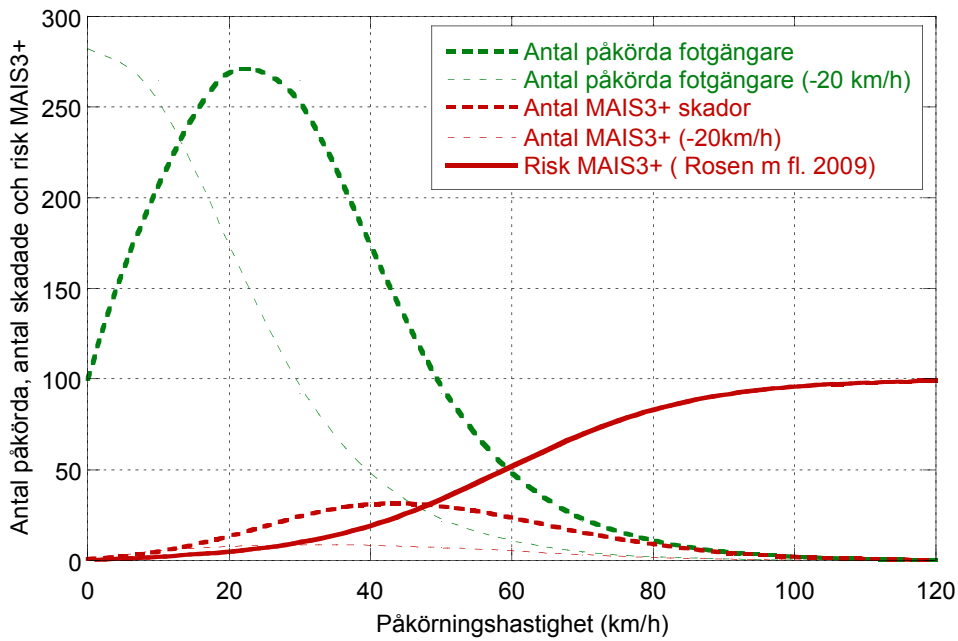
Utifrån tidigare studier har man mer eller mindre ansett att det varit omöjligt att skydda fotgängare i olyckor med påkörningshastigheter i hastigheter över 60 km/h. De nya riskkurvorna (Davis 2001, Hannawald och Kauer 2004, Rosén, m fl. 2009, Rosén och Sander 2009) tyder dock på att bilens skyddssystem kan appliceras på ett betydligt bredare hastighetsintervall än man tidigare ansett. Påkörningshastigheten kan minskas genom automatiskt bromssystem, vilket också medför att bilens passiva säkerhetssystem kan få en ökad effekt i framtiden. Totalt sett kommer detta att medföra att bilens skyddssystem kan skydda fotgängare i betydligt fler påkörningar.

3.8.1 Effekt av automatiskt inbromsande system

Det finns nu ny teknik, såsom automatiska nödbromssystem, som varnar och ger stöd vid kritiska situationer i syfte att minska krockvåldet eller i bästa fall helt undvika en krock. Denna typ av teknik kommer att ha effekt på alla typer av olyckor. Volvo har till exempel precis lanserat ett säkerhetssystem, *Pedestrian Detection*, som kan upptäcka en fotgängare i en olyckssituation. Om fotgängaren kommer farligt nära bilen upptäcker systemet fotgängaren och varnar föraren. Om föraren inte agerar i tid aktiveras automatiskt full bromseffekt. Potentialen att minska skador med sådana system är stor. Studier av verkliga olyckor med svårt skadade och döda visar att fotgängaren i ca 30-40 % var synlig innan krocken skedde (Rosén, m fl. 2009). Trots detta hann inte föraren bromsa. I dessa olyckor skulle ett automatiskt bromsningssystem haft potential att kraftigt minska påkörningshastigheten och därmed lindrat utgången i olyckan. Den maximala effekten av sådana system kan uppskatta med hjälp av dos-respons-modeller. Skulle påkörningshastigheten i samtliga krockar minskas med ca 20 km/h skulle antalet dödade fotgängare kunna minskas med ca 75 % och antalet svårt skadade med ca 70 %, figur 15 och figur 16. Skulle hastigheten kunna minskas ytterligare, låt säga 30 km/h, skulle reduktionerna maximalt kunna bli ca 90 % respektive 85 % . Troligen har inte automatiska nödbromssystem den fulla effekten i samtliga påkörningar. I många fall bromsar föraren i varierande grad. Men i åtminstone 30-40 % av påkörningarna bör systemet ha full effekt. Det innebär att det vid en inbromsning med 20 km/h erhålls en reduktion av dödsfall med ca 25 % och svårt skadade med ca 20 %, och vid en inbromsning med 30 km/h 30-35 % respektive 25-30 %. Detta illustreras i figur 15 och figur 16 där kurvan med antalet påkörda fotgängare är uppskattade utifrån GIDAS-data. Som tidigare nämnts är antal påkörda vid låga hastigheter underskattade. Det verkliga antalet påkörda under 20 km/h är därför högre och den reducerande effekten kan därför antas vara något högre. Detta gäller speciellt för svår skada (MAIS3+) som har en risk även vid låga påkörningshastigheter där exponeringen i figuren är som störst (vid ca 20 km/h).



Figur 15. Effekt på dödsfall vid reduktion av påkörningshastighet med 20 km/h

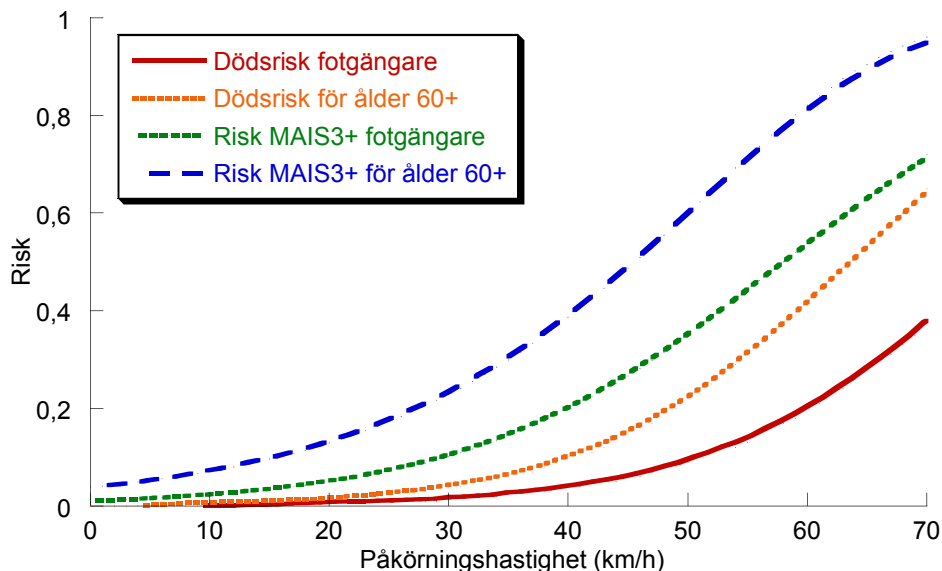


Figur 16. Effekt på svår skada (MAIS3+) vid reduktion av påkörningshastighet med 20 km/h

4 REKOMMENDATIONER

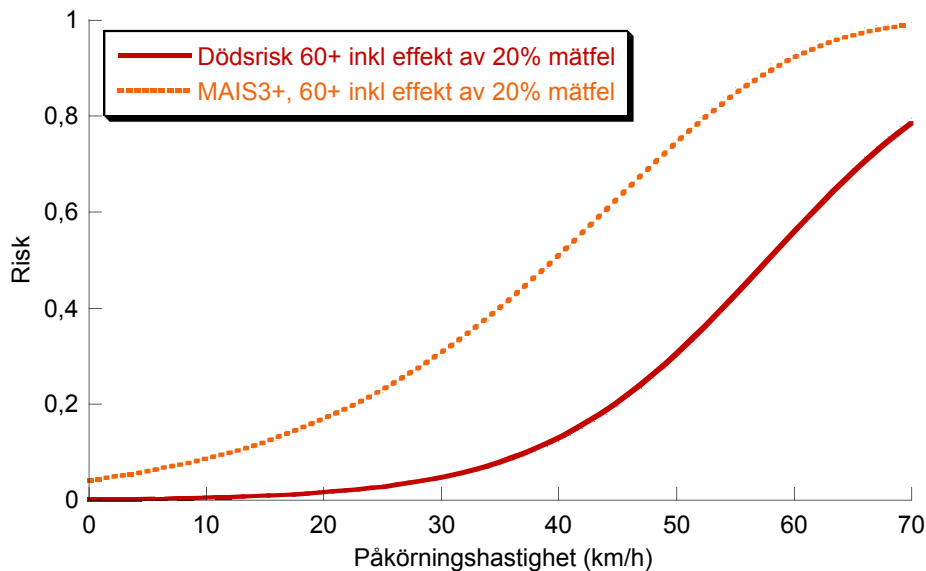
Denna litteraturstudie visar att den riskkurva som bäst speglar risken att dö som fotgängare idag är den som Rosén och Sander (2009) har presenterat baserat på tysk olycksstatistik mellan åren 1999-2007, figur 17. Riskkurvan är tillförlitlig upp till 60 km/h, därefter är osäkerheten stor på grund av få olyckor vid höga påkörningshastigheter. Vidare har det publicerats en riskkurva för svår skada (MAIS3+) baserat på samma olycksmaterial (Rosén m fl 2009), figur 17. Davis (2001) analys av Birmingham-data från 1965-1979 är den studie som är mest lämplig att använda för att studera fotgängares dödsrisk i krockar under 1960- och 1970-talet.

Ett flertal studier visar på ökad skade- och dödsrisk för personer över 60 år. Vägtransport-systemet bör därför dimensioneras för denna ålderskategori. I figur 17 visas även dödsrisk samt risk för svår skada (MAIS3+) för fotgängare över 60 år. Om man dessutom skulle beakta invaliditet, som även kan uppstå av skador som klassas som lindriga, skulle risken öka ytterligare för en given påkörningshastighet.



Figur 17. Viktad dödsrisk (Rosén och Sander 2009), uppskattad viktad dödsrisk för fotgängare över 60 år (från Figur 7), viktad risk för svår skada (MAIS3+) (Rosén m fl 2009) samt viktad risk för svår skada för fotgängare äldre än 60 år (Rosen 2010).

Alla riskkurvor har inverkan av olika mätfel. Slumpmässiga mätfel får till effekt att risken underskattas i olika grad beroende på kvalitet i datamaterialet. I figur 18 ges en uppskattning av denna effekt vid ett genomsnittligt slumpmässigt fel av påkörningshastigheten på ca 20 %, vilket verkar rimligt med tanke på kända fel vid hastighetsuppskattningar i bilkollisioner. Riskkurvor i figur 18 inkluderar en uppskattad effekt av slumpmässiga mätfel med standardavvikelse i storleksordningen 20 % ligger troligtvis nära den sanna risken, varför dessa riskkurvor rekommenderas att utgå ifrån vid beräkning av effekter av säkerhetshöjande åtgärder.



Figur 18. Uppskattad viktad dödsrisk samt risk för MAIS3+ skada för fotgängare äldre än 60 år inklusive uppskattad effekt av slumpmässiga mätfel med en standardavvikelse på ca 20 %. (Uppskattade utifrån riskkurvor i Rosén och Sander (2009) och Rosen (2010).)

Riktlinjer för att undvika personsador är enligt Nollvisionens filosofi att fordons hastighet bör begränsas till 30 km/h i områden där främst fotgängare vistas. Detta för att minimera risken för kollision mellan oskyddade trafikanter och motorfordon. Vid denna hastighet är möjligheten att upptäcka en fotgängare i tillräcklig god tid hög samt att risken att skadas vid en eventuell olycka är låg. Litteraturstudien i denna rapport visar att risken att dö ökar markant vid hastigheter över 40 km/h. Dessutom är risken för svår skada (MAIS3+) för fotgängare äldre än 60 år mellan 20 % och 30 % vid en påkörningshastighet av 30 km/h. Det är därför rimligt att dessa riktlinjer för utformning av trafikmiljöer bibehålls.

Med tanke på utvecklingen av bilars säkerhetssystem för oskyddade trafikanter, exempelvis automatiskt inbromsande system, är det sannolikt att riktlinjerna framöver bör revideras. Analysen i denna rapport tyder på att bilens skyddssystem kommer att ha stor positiv effekt för att minimera fotgängarolyckor i framtiden. Trafikverket bör därför verka för att stimulera utvecklingen av bilens skyddssystem för fotgängare och att dessa system skall fungera i högre hastighet än man tidigare ansett. Denna rapport tyder på att bilens skyddssystem bör dimensioneras för och fungera i hastigheter ända upp mot 100 km/h.

5 REFERENSER

- Amoros, E., Martin, J. L., Chiron, M. och Laumon, B. (2007). "Road crash casualties: characteristics of police injury severity misclassification." *J Trauma* 62(2): 482-90.
- Amoros, E., Martin, J. L. och Laumon, B. (2006). "Under-reporting of road crash casualties in France." *Accid Anal Prev* 38(4): 627-35.
- Anderson, R. W., McLean, A. J., Farmer, M. J., Lee, B. H. och Brooks, C. G. (1997). "Vehicle travel speeds and the incidence of fatal pedestrian crashes." *Accid Anal Prev* 29(5): 667-74.
- Anderson, R. W. G., McLean, A. J., Farmer, M. J. B., Lee, B. H. och Brooks, C. G. (1995). Vehicle travel speeds and the incidence of fatal pedestrian crashes. In: Proceedings of the 1995 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, Brunnen, Schweiz
- Ashton, S. J. (1980). A preliminary assessment of the potential for pedestrian injury reduction through vehicle design. Proceedings of the 24th Stapp Car Crash Conference SAE, Inc, Warrendale, Pa.
- Ashton, S. J. och Mackay, G. M. (1979). Some characteristics of the population who suffer trauma as pedestrians when hit by cars and some resulting implications. The 1979 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, Göteborg, Sverige.
- Ashton, S. J., Pedder, J. B. och Mackay, G. M. (1977). Pedestrian injuries and the car exterior, Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Paper 770092.
- Baker, S. P. och O'Neill, B. (1976). "The Injury Severity Score: An Update." *The Journal of Trauma* 16(11): 882-885.
- Baker, S. P., O'Neill, B., Haddon, W., Jr. och Long, W. B. (1974). "The Injury Severity Score: A Method for Describing Patients with Multiple Injuries and Evaluating Emergency Care." *The Journal of Trauma* 14(3): 187-196.
- Braver, E. R. och Trempe, R. E. (2004). "Are older drivers actually at higher risk of involvement in collisions resulting in deaths or non-fatal injuries among their passengers and other road users?" *Inj Prev* 10(1): 27-32.
- Bull, J. P. (1975). "The Injury Severity Score of Road Traffic Casualties in Relation to Mortality, Time of Death, Hospital Treatment Time and Disability." *Accid. Anal. and Prev.* 7: 249-255.
- Carlsson, G. (1998). Samband mellan hastighet och olyckor. Basfakta. Stockholm, NTF-kansliet.
- Chidester, A. B. och Isenberg, R. A. (2001). Final report – the pedestrian crash data study. of the 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Amsterdam, Nederländerna, 4-7 juni 2001.
- Cuerden, R., Hill, J. och Richards, D. (2007). Pedestrians and Their Survivability at Different Impact Speeds. 20th Int. Techn. Conf. on ESV, Lyon, Frankrike.
- Dahdah, S. (2008), 'Modeling an Infrastructure Safety Rating for Vulnerable Road Users in Developing Countries', The George Washington University, USA.
- Davis, G. A. (2001). "Relating Severity of Pedestrian Injury to Impact Speed in Vehicle-Pedestrian Crashes Simple Threshold Model." *Transportation Research Record* 1173: 108-113, Paper No. 01-0495.
- Depriester, J.-P., Perrin, C., Seere, T. och Chalanadon, S. (2005). Comparison of Several Methods for Real Pedestrian Accident Reconstruction. the 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Washington D.C., 6-9 juni.
- Eubanks, J. J. och Haight, W. R. (1992). "Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology." *Technical Paper 921591. SAE.*
- Elvik R, Christensen P, Amundsen AH (2004) Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model, TOI report 740, Institute of Transport Economics, Oslo, Norge.
- Falkenberg, H. (2008), 'Analysis of pedestrian and cyclist to passenger car front crashes - An analysis of crashes involving passenger cars and pedestrians or cyclists using data from the Injury Database at Umeå University Hospital and the Deep Analysis Database at SRA (Vägverket)', Chalmers, Göteborg, Sverige.

- Fildes, B., Gabler, H. C., Otte, D., Linder, A. och Sparke, L. (2004). Pedestrian impact priorities using real-world crash data and harm. of the 2004 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, Graz, Österrike, 22-24 september.
- Fredriksson, R., Rosén, E. och Kullgren, A. (2010). "Priorities of pedestrian protection – a real-life study of severe injuries and car sources." *Accid Anal Prev* In press.
- Gabauer, D. J. och Gabler, H. C. (2008). "Comparison of roadside crash injury metrics using event data recorders." *Accid Anal Prev* 40(2): 548-58.
- Garder, P. E. (2004). "The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine." *Accid Anal Prev* 36(4): 533-42.
- Hannawald, L. och Kauer, F. (2004). Equal effectiveness study on pedestrian protection, Technische Universität Dresden, Tyskland.
- Henary, B. Y., Ivarsson, J. och Crandall, J. R. (2006). "The influence of age on the morbidity and mortality of pedestrian victims." *Traffic Inj Prev* 7(2): 182-90.
- IWGAM (1986). (Interdisciplinary Working Group for Accident Mechanics) The car-pedestrian collision: injury reduction, accident reconstruction, mathematical and experimental simulation: head injuries in two wheeler collisions. , University of Zürich and Swiss Federal Institute of Technology ETH, Schweiz.
- Jarrett, K. L. och Saul, A. R. (1998). Pedestrian Injury-Analysis of the PCDS Field Collision Data Proceedings of the Sixteenth International Enhanced Safety Vehicle Conference, Paper No. 98-S6-O-04, Windsor, Kanada.
- Johansson, R. (2008). "Vision Zero – Implementing a policy for traffic safety." *Safety Science* Corrected Proof, Available online 17 December 2008.
- Kong, C. och Yang, J. (2010). "Logistic regression analysis of pedestrian casualty risk in passenger vehicle collisions in China." *Accident Analysis & Prevention* 42 (4): 987-993.
- Krafft M, Kullgren A, Lie A, Tingvall C (2009) From 15% to 90% ESC Penetration in New Cars in 48 months - The Swedish Experience, 21th Int. Techn. Conf. on ESV, 15-18 juni 2009, Stuttgart, Tyskland.
- Kullgren, A. (2008). Dose-response Models and EDR Data For Assessment of Injury Risk and Effectiveness of Safety Systems. IRCOBI, International Conference on the Biomechanics of Impact, 17- 19 september 2008, Bern, Schweiz.
- Kullgren, A. och Lie, A. (1998). "Vehicle Collision Accident Data - Validity and Reliability." *Journal of Traffic Medicine* 26(3-4): 77-98.
- Larsson, J. (2009). Fotgängares trafiksäkerhetsproblem – skadeutfall enligt polisrapportering och sjukvård. Linköping, Sweden, VTI, VTI-rapport 671.
- Lefler, D. E. och Gabler, H. C. (2004). "The fatality and injury risk of light truck impacts with pedestrians in the United States." *Accid Anal Prev* 36(2): 295-304.
- Malm, S., Krafft, M., Kullgren, A., Ydenius, A. och Tingvall, C. (2008). "Risk of Permanent Medical Impairment (RPMI) in Road Traffic Accidents." *Annu Proc Assoc Adv Automot Med* 52: 93-100.
- Naci, H., Chisholm, D. och Baker, T. D. (2009). "Distribution of road traffic deaths by road user group: a global comparison." *Inj Prev* 15(1): 55-9.
- Neal-Sturgess, C. E., Coley, G. och de Oliveira, P. (2002). "Pedestrian injuries: Effects of impact speed and contact stiffness." *Vehicle Safety IMechE London, MEP*.
- Norin, H., Krafft, M., Korner, J., Nygren, A. och Tingvall, C. (1997). "Injury severity assessment for car occupants in frontal impacts, using disability scaling." *Journal of Clinical Epidemiology* 50(1): 95-103.
- Nygren, Å. (1984), 'Injuries to Car Occupants - Some Aspects of the Interior Safety of Cars ', Doktorsavhandling, Karolinska Institutet.
- Oh, C., Kang, Y. S. och Kim, W. (2008). "Assessing the safety benefits of an advanced vehicular technology for protecting pedestrians." *Accid Anal Prev* 40(3): 935-42.
- Oh, C., Kang, Y. S. och Konosu, A. (2008). "Development of probabilistic pedestrian fatality model for characterizing pedestrian-vehicle collision." *International Journal of Automotive Technology* 9(2): 191-196.
- Otte, D., Krettek, C., Brunner, H. och Zwipp, H. (2003). Scientific approach and methodology of a new in-depth investigation study in Germany so called GIDAS. of the 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Nagoya, Japan.

- Pasanen, E. (1992). *Driving Speeds and Pedestrian Safety; A Mathematical Model.*, Helsinki University of Technology, Transport Engineering, Otaniemi, Finland.
- Peng, R. Y. och Bongard, F. S. (1999). "Pedestrian versus motor vehicle accidents: an analysis of 5,000 patients." *Journal of the American College of Surgeons* 189(4): 343-8.
- Pitt, R., Guyer, B., Hsieh, C. C. och Malek, M. (1990). "The severity of pedestrian injuries in children: an analysis of the Pedestrian Injury Causation Study." *Accid Anal Prev* 22(6): 549-59.
- Rosén, E. (2009). Measurement error of impact speed and its influence on pedestrian fatality risk, Autoliv Research, Vårgårda, Sverige.
- Rosén, E. (2010). Pedestrian risk for MAIS3+F injury – A work description. Vårgårda, Autoliv, Sverige.
- Rosén, E., Källhammer, J.-E., Eriksson, D., Nentwich, M., Fredriksson, R. och Smith, K. (2009). Pedestrian Injury Mitigation by Autonomous Braking. 21th Int. Techn. Conf. on ESV, Stuttgart, Tyskland.
- Rosén, E. och Sander, U. (2009). "Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed." *Accid Anal Prev* 41(3): 536-42.
- Rosén, E. och Sander, U. (2010). The influence of impact speed estimation errors on pedestrian fatality risk curves. 4th International Conference ESAR "Expert Symposium on Accident Research", Hannover, Tyskland.
- Rosén, E., Stigson, H. och Sander, U. (2010). "Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed." *Accid Anal Prev* In Press.
- Roudsari, B., Kaufman, R. och Koepsell, T. (2006). "Turning at intersections and pedestrian injuries." *Traffic Inj Prev* 7(3): 283-9.
- SKL (2000). *Lugna gatan! En planeringsprocess för säkrare, miljövänligare, trivsammare och vackrare tätortsgator*, Svenska Kommunförbundet, Stockholm, Sverige.
- Sunnevång, C., Rosen, E. och Bostrom, O. (2008). Real Life Study on the Effect of Age and Delta-V in Car-to-Car Near-Side Impacts. Assoc Adv Automot Med.
- Sunnevång, C., Rosén, E. och Bostrom, O. (2009). "Real-life fatal outcome in car-to-car near-side impacts--implications for improved protection considering age and crash severity." *Traffic Inj Prev* 10(2): 194-203.
- Teichgräber, W. (1983). Die Bedeutung der Geschwindigkeit für die Verkehrssicherheit., *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*. 2.
- Walz, F. H., Hoefliger, M. och Fehlmann, W. (1983). Speed limit reduction from 60 to 50 km/h and pedestrian injuries of the 27th Stapp Car Crash Conference with International Research Committee on the Biokinetics of Impact (IRCOBI).
- Yaksich, S. J. (1964). *Pedestrians with milage: A study of elderly pedestrian accidents in St. Petersburg, Florida*. Washington D.C., American Automobile Association.
- Youn, Y., Kim, S., Oh, C., Shin, M. och Lee, C. (2005). Research and rule-making activities on pedestrian protection in Korea. The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Washington D.C., USA, 6-9 Juni.