

Effektsamband för samhällsekonomiska analyser inom transportområdet

Pontus Matstoms och Urban Björketun
V T I

Mars 2003

Rapporten kommer att ges ut som VTI meddelande 943 (2003)

1	INLEDNING.....	4
1.1	BAKGRUND.....	4
1.2	UPPDRAGETS OMFATTNING	5
1.3	AVGRÄNSNINGAR.....	6
1.4	RAPPORTENS DISPOSITION	7
2	EFFEKTSAMBAND.....	8
2.1	DEFINITIONER	8
2.2	COST-BENEFIT ANALYS OCH MARGINALKOSTNADSSKATTNING	8
2.3	BAKGRUND OCH MÅTT	8
3	KARTLÄGGNING.....	12
3.1	VÄGTRAFIK	12
3.2	JÄRNVÄG	33
3.3	SJÖFART	42
3.4	FLYG	47
4	SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	53
4.1	SAMMANFATTNING	53
4.2	REKOMMENDATIONER.....	57
	REFERENSER	58

Förord

Projektet har genomförts på uppdrag av Joakim Johansson, SIKA. I diskussionerna med uppdragsgivaren har också Inge Vierth deltagit. På VTI har Pontus Mattoms varit projektledare och huvudförfattare för rapporten. Urban Björketun har deltagit vid litteratursökning och har också skrivit delar av rapporten. Synpunkter på innehållet har givits av ett flertal personer.

Kartläggningen av effektsamband för emissioner har delvis genomförts och finansierats inom ramen för VTI:s myndighetsuppdrag.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

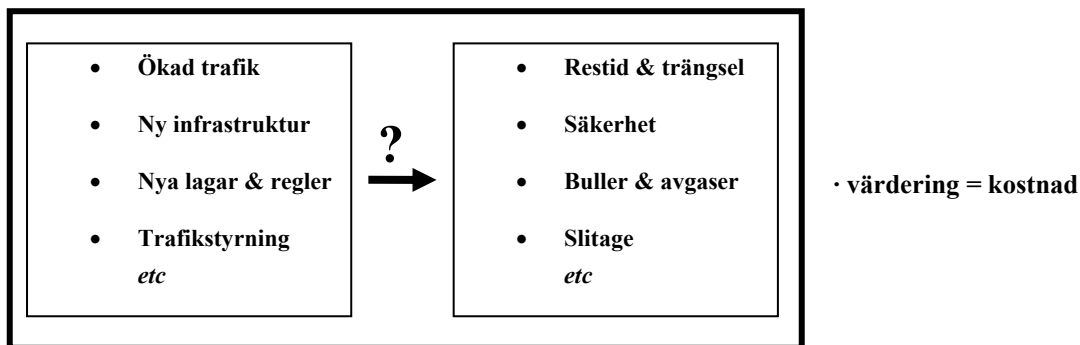
Trafik och transporter är en förutsättning för det moderna samhället men innebär samtidigt en rad negativa effekter för individer, företag och samhälle. Det gäller till exempel trafikolyckor, avgasutsläpp och buller; effekter som i varierande utsträckning drabbar trafikanten själv, andra trafikanter, andra individer eller samhället i stort. Det övergripande målet för transportpolitiken är att öka transportsystemet positiva effekter och att begränsa eller minska dess negativa konsekvenser. Genom utbyggd och förbättrad infrastruktur kan gynnsam regional utveckling och effektivare transporter uppnås. För att minska trafikens negativa effekter genomförs åtgärder inom ett stort antal områden. Nollvisionen innebär till exempel en målsättning att stegvisa minska antalet dödade eller svårt skadade i trafiken, och flera internationella åtaganden handlar om klimatförändringar och behovet av att begränsa koldioxidutsläppen.

Åtgärder och effektiv planering för ett förbättrat transportsystem kräver kunskap om vilka effekter olika transportslag har och vad som påverkar effekternas omfattning. På ett övergripande plan är det klart att ökande trafik innebär negativa miljökonsekvenser, men vilka faktorer är det som påverkar mängden avgaser och luftkvaliteten? Man vet att högre hastigheter på vägarna innebär ökade risker för allvarliga trafikolyckor men vad händer samtidigt med buller och vägslitage? Ytterligare ett exempel handlar om den tunga trafiken på vägarna. Under senare år har trafikarbetet för tung trafik ökat snabbare än för vägtrafiken i stort. Dess andel av det totala trafikarbetet har därmed ökat. Samtidigt har det skett en ökning av antalet dödade genom mötes- och omkörningsolyckor där tung trafik har varit inblandad (Nilsson 2002). En fråga är om ökningen i trafikarbete förklarar det ökande antalet olyckor eller om det även är andra faktorer som spelar in. Den allmänna frågan är här hur trafiksäkerheten påverkas av andelen tung trafik.

Samma typ av kunskap krävs vid samhällsekonomisk kalkyl och vid jämförelser mellan olika transportslag. En tillämpning är frågan om marginalkostnadsprissättning, där i första hand effekten eller kostnaden förenad med marginella förändringar av trafikarbetet söks. Den grundläggande frågeställningen är dock densamma; *vilka är effekterna av dagens trafik och vilka är effekterna av ökad trafik eller andra förändringar i transportsystemet?*

Frågan om värdering av effekter hänger nära samman med ekonomiska resonemang baserade på t ex tidsvärden, hälsoeffekter kopplade till VOSL¹ och faktiska kostnader för drift och underhåll av infrastruktur. Effekter uppskattas ofta med modeller, härledda genom naturvetenskapliga eller statistisk resonemang. Det empiriska underlaget kommer då ofta från mätningar eller statistisk uppföljning. Hur sedan en uppskattad effekt värderas beror på vilken skada eller problem den innebär. Buller är t ex inget problem så länge inte någon drabbas av det, varför värderingen är direkt beroende av exponering och omfattning. Gränsdragningen mellan effektsamband och samhällsekonomisk värdering visas i figuren nedan.

¹ Det värde som i ekonomiska modeller ansätts ett "statistiskt liv".



Figur 1 Effektsamband och modeller belyser effekten, i termer av t ex säkerhet och miljö, av förändringar i transportsystemet eller av förändrad (ökad) trafikmängd. Tillsammans med ekonomisk värdering av olika effekter beräknas en samhällsekonomisk kostnad. Rapporten handlar om samband och modeller (yttre svarta rutan) men inte om värdering.

Inom ramen för pågående ASEK²-arbete har SIKÄ givit VTI i uppdrag att översiktligt kartlägga effektsamband för samhällsekonomisk analys. Projektet ska utgöra första steget i ett större arbete, med det övergripande syftet att förbättra kvaliteten och tillförlitligheten i de kalkyler som ligger till grund för samhällsekonomiska bedömningar inom transportområdet. Genom ökad kunskap om de effektmodeller som används i dagsläget blir det möjligt att peka på områden där förbättringar eller ökad kunskap krävs. Resultatet av den inledande kartläggningen presenteras i denna rapport.

Utgångspunkten för kartläggningen är en transportslagsövergripande syn på effekter. Jämförelser och analyser som sträcker sig över flera transportslag är relevant endast om det finns en gemensam syn på hur effekter ska beräknas. Ett exempel är när inriktningalternativ för transportpolitiken formuleras som att man söker den övergripande lösning som på billigast möjliga sätt leder till att uppställda mål uppfylls. Det betyder att man söker kombinationer av åtgärder som tillsammans ger hög kostnadseffektivitet.

1.2 Uppdragets omfattning

Fokus i det arbete som presenteras här ligger på att (i) identifiera de effektsamband som är viktiga för samhällsekonomiska analyser inom respektive transportslag, och (ii) att beskriva vilka samband som beaktas, och i förekommande fall, hur det görs i dagens kalkylmodeller. I andra hand, med lägre ambition, diskuteras varför vissa samband saknas och i vilken omfattning som det i så fall har en inverkan på tillförlitligheten i motsvarande kalkyler.

Tillämpningar av samhällsekonomiska kalkylmodeller inom transportområdet handlar ofta om *cost-benefit-analys* (CBA) eller om uppskattning av *marginalkostnader* (MK). Oberoende av tillämpning är det ofta samma grundläggande effektsamband och modeller som används, men bakgrundsfaktorer kan vara olika viktiga vid CBA och vid MK-beräkningar. Ett syfte med projektet är att belysa denna möjliga skillnad.

² ASEK = Arbetsgruppen för samhällsekonomiska analyser (Banverket, Luftfartsverket, SIKÄ, Sjöfartsverket och Vägverket).

I kartläggningen ingår också att diskutera interna kontra externa effekter, definitioner och lämpliga mått på effekter. I fråga om transportarbete är det t ex inte självklart om omfattning på godstransporter ska mätas i fordons- eller i tonkilometer.

1.3 Avgränsningar

Kartläggningen avser effekter och effektsamband för transportslagen *vägtrafik*, *järnväg*, *sjöfart* och *flyg*. För respektive transportslag berörs effekter inom fyra kategorier, nämligen

- säkerhet,
- emissioner,
- buller och,
- trängsel.

På grund av uppdragets begränsade omfattning har vi valt att inte studera en femte kategori, *slitage*, som annars också kunde ha ingått i studien. Det exakta valet av effektkategorier har annars gjorts av uppdragsgivaren. Valet hänger samman med intresset för MK-beräkningar. Kategorierna sammanfaller också med dem som ingår i EU-kommissionens vitbok (EU-kommissionen 2001) och som diskuteras i SIKAs arbete om marginalkostnadsbaserade avgifter i transportsystemet (SIKA 2000).

Rapporten behandlar i första hand effektsamband och effektmodeller utifrån ett ”ingenjörsperspektiv” – vilka är effekterna och vilka faktorer är det som påverkar deras omfattning? Detta perspektiv är naturligt eftersom studiens primära syfte just är att belysa vilka effektsamband som finns och hur de idag beaktas. Den valda inriktningen gör att framställningen varken handlar om specifika tillämpningar inom CBA eller marginalkostnadsprissättning. Olika tillämpningar kan möjligtvis innebära att sambanden används på olika sätt. Vidare så har syftet inte varit att i detalj jämföra olika modeller eller parametervärden. Rapporten redovisar i stort sett inte några parametervärden eller beräkningsfaktorer för olika modeller. En sådan jämförelse bör däremot göras i det fortsatta arbetet.

En principiellt viktig fråga är vilken omfattning eller räckvidd effektsamband och modeller bör ha. Det övergripande syftet är *värdering* och det innebär att effektsambanden bör belysa den effekt som värderas; se figuren ovan. Ett tydligt exempel är uppskattning av effekter av luftföroreningar. Där är det mängden avgasutsläpp som är effekten medan kostnaden syftar på en värdering av t ex hälsoeffekter. I enlighet med figuren borde effektsambanden gå hela vägen, fram till *skada*. Med den teknik som tillämpas idag innehåller värderingen i sig ett moment av effektt uppskattning. I rapporten beaktas denna fråga inte ytterligare.

Projektets syfte och uppdragets omfattning gör att rapporten inte kan göra anspråk på att vara komplett, helt igenom systematisk eller beröra alla frågeställningar som borde lyftas fram. Tyngdpunkten ligger på en beskrivning av hur effekter inom olika transportområden hanteras och i någon mån en analys av motsvarande brister. Rapporten är inte heller fullständig i fråga om distinktionen mellan MK- och CBA-tillämpningar.

Effektsamband inom transportområdet är ett mycket stort område där varje delmoment i sig, kombinationer av transportslag och effektkategori, kan vara underlag för särskilda kartläggningar. Rapporten måste därför ses som en exposé och

i första hand vara ett underlag för mera detaljerade studier. En svårighet har varit att ge en representativ bild av varje delområde. Framställningen är därmed inte alltid gjord med helt igenom samma ambitionsnivå.

1.4 Rapportens disposition

Kapitel 2 innehåller en allmän och transportslagsövergripande diskussion om effektsamband och modeller, med definitioner och bakgrund till de effektkategorier som rapporten berör. Därefter, i Kapitel 3, redovisas den egentliga kartläggningen. För respektive transportslag och effektkategori beskrivs samband, modeller och brister i nuvarande beräkningar. Avsnitten om respektive transportslag inleds med en sammanfattande tabell över de olika effektkategorierna, inkluderande de viktigaste effektsambanden. En annan tabell visar för respektive transportslag hur olika åtgärder påverkar de olika effektkategorierna. I Kapitel 4 sammanfattas rapporten och de brister som tidigare har identifierats. Där ges också rekommendationer för fortsatt arbete.

2 Effektsamband

2.1 Definitioner

Transporter ger upphov till olika typer av *effekter*. I den fortsatta diskussionen delas dessa in i *effektkategorier*, till exempel effekter på miljö, säkerhet och trängsel. Varje sådan effektkategori innehåller i sin tur ofta flera mått eller variabler, som tillsammans beskriver den totala effekten. Miljöeffekter består till exempel av flera olika typer av avgasutsläpp, till exempel CO₂, NO_x och HC. Effekter kan på så sätt vara mångdimensionella och måste beskrivas med flera olika variabler.

Mängden avgaser som trafiken släpper ut längs en väg bestäms av många olika faktorer, till exempel trafikmängd, vägtyp, hastigheter, bilparkens sammansättning. Innebörden av *effektsamband* är det faktum *att* en effekt påverkas av något annat. *Hur* sambandet ser ut och hur det kvantitativt kan beräknas kan vara givet men också okänt. Det centrala är att *samband* indikerar beroende, inte att omfattningen kan uttryckas.

Vid beräkning och kvantitativ uppskattning av olika effekter utnyttjas *effektmodeller*. Dessa kan antingen vara direkt grundade på statistik, till exempel i form av olyckskvoter för olika vägtyper, eller på sofistikerade modeller grundade på naturvetenskapliga resonemang och där parametervärden har bestämts genom kalibrering mot empiriska data.

2.2 Cost-benefit analys och marginalkostnadsskattning

Utgångspunkten i rapporten är att den typ av effektsamband som diskuteras ska användas för samhällsekonomisk analys; antingen genom cost-benefit uppskattning eller för marginalkostnadsprissättning. Oberoende av tillämpning så baseras analysen på samma grundläggande samband mellan bakgrundsfaktorer och effekt (effektsambanden).

En viktig skillnad är dock att för respektive tillämpning (CBA eller MK) kan det vara olika faktorer som har störst inverkan på resultatet, och att *differentieringen* med avseende på faktorer blir olika.

Vid CBA söks i princip lönsamheten av en investering el dyl, uttryckt som skillnaden mellan nytta och kostnad. Av intresse är då vilka variabler som påverkar lönsamheten mest. Av särskilt intresse är då variabler för vilka motsvarande partiella derivata av effekten är stor.

Vid MK-beräkningar söks istället kostnaden för trafik som på marginalen tillkommer, dvs värderingens derivata med avseende på trafikmängden. Faktorer som påverkar detta värde är de för vilka motsvarande partiella derivata av den tidigare derivatan är stor.

2.3 Bakgrund och mått

2.3.1 Säkerhet

Genom vägtrafiken dödas årligen omkring 600 personer. För övriga transportslag är nivån väsentligt lägre. Antalet döda genom olyckor till sjöss ligger normalt kring 20-40 stycken och järnvägs- och flygolyckor kräver båda omkring 20 liv per år. För järnväg, sjöfart och flyg kan dock variationen från år till år vara betydande.

För sjöfart och flyg blir det också en betydande skillnad om fritidsbåtar respektive privatflyg räknas in i statistiken.

Särskilt vägtrafiken innebär också ett stort antal allvarligt skadade. Nollvisionen talar om att kraftigt minska både antalet dödade och svårt skadade, och på sikt uppnå att ingen dödas eller svårt skadas till följd av trafikolyckor.

Vägverket delar in olyckor i ett antal olika olyckstyper, till exempel singel-, mötes-, omkörnings-, upphinnande-, vilt-, fotgängare- och cykelolycka. De två senare typerna innebär inblandning av motorfordon och fotgängare respektive cyklist. Olyckor på väg klassificeras också efter skadegrad – dödad, svårt skadad och lindrigt skadad. Med den indelningen omfattar dödade endast personer som avlidit till följd av olyckan inom 30 dagar. Med svårt skadade menas personer som ådragit sig skador såsom hjärnskakning, inre skada, skärskada och övriga skador som kräver intagning på sjukhus. Till lindriga skador räknas övriga personskador till följd av trafikolycka.

I Vägverkets effektkalkyler används vidare olika aggregerade mått på risk och konsekvens. Exempel på riskmått är *olyckskvot* som anger antal polisrapporterade olyckor per miljon axelparskilometer och *dödskvot* som anger antal dödade per miljon axelparskilometer. På motsvarande sätt uttrycks konsekvenserna genom till exempel *allvarlighetsföljd* (dödade eller svårt skadade per polisrapporterad olycka).

Tabell 1 Antal dödade 1999 inom respektive trafikslag. Inom sjöfarten härrör samtliga döda från olyckor med fritidsbåtar. Antalet dödade inom flyget avser olyckor i Sverige, oavsett nationalitet. Dödade i samband med kollisioner mellan bil och tåg ingår under både vägtrafik och järnväg. Källa: (SIKA 2000).

Trafikslag	Antal dödade
Vägtrafik	580
Järnväg	22
Sjöfart	28
Flyg	10

2.3.2 Emissioner

Transporter innebär luftföroreningar med effekter på *människors hälsa, klimatet* och på *natur- och kulturmiljön*. Ett stort antal ämnen från avgaser eller avdunstning har påvisad negativ hälsoeffekt. För tretton olika ämnen eller grupper av ämnen finns i dagsläget mål, gränsvärden och föreskrifter. Beträffande klimatpåverkan är det idag allmänt accepterat att koldioxid, metan och andra gaser kan bidra till den så kallade växthuseffekten och medföljande global uppvärmning. Utsläpp av framför allt kväveoxider, tidigare också i större omfattning svaveloxider, leder till övergödning och försurning med risk för allvarliga effekter på naturliv som följd. Kulturmiljön påverkas också genom försurning (nedbrytning av material) och genom nedsmutsning förorsakad av framför allt partiklar och sot.

Mängden avgasemissioner mäts i gram. Långsiktiga mål är oftast formulerade som minskningar av den totala mängden emissioner av olika ämnen. För utsläpp med lokala hälsoeffekter är luftkvalitet, uttryckt som ämnens halt i luften (gram per m³), mera relevant mått. Det är också på detta sätt som normer för lokal luftkvalitet är uttryckta.

Tabell 2 Utsläpp (i tusentals ton) av klimatgaser och luftföroreningar från respektive transportslag. Källa: Trafikverkens miljörapport år 2000 (Banverket, Luftfartsverket et al. 2000).

Ämne	Vägtrafik	Sjöfart	Luftfart	Spårtrafik	Totalt
Koldiox (CO ₂)	20000	3300	1600	78	
	80%	13%	6.5%	<0.5%	100%
Kvävedioxider (NO _x)	113	54,2	7,1	1,6	
	64%	31%	4.0%	<1%	100%
Svaveldioxid (SO ₂)	0,6	16,8	0,5	0,001	
	3%	94%	3%	Ca 0%	100%
Kolväten (HC)	94	14,4	0,9	0,09	
	86%	13%	0.8%	0.2%	100%

Något förenklat kan man säga att mängden avgaser per körd kilometer för t ex en lastbil bestäms av specifika egenskaper för fordonet, bränslet, körmönstret (hastighetsprofilen) och lastmängden. Det gör att totala förbättringar bara kan uppnås genom minskat trafikarbete eller genom förbättringar på dessa enskilda punkter. Detsamma gäller inom såväl sjöfarten, järnvägen (särskilt dieseldrivna tåg) som flyget. För exponering och frågan om tillägg för ej varmkörda motorer är det också avgörande var emissionerna sker, i tätort eller på landsbygd.

2.3.3 Buller

Trafikbuller upplevs som ett problem för ett allt större antal människor. Omkring två miljoner människor utsätts för trafikbuller överstigande gällande riktvärden. Bullerproblem i allmänhet kan till största delen hänföras just till trafiken. Riktvärden för vad som bedöms vara acceptabla bullernivåer anges för platser där människor lever och verkar, till exempel permanent- och fritidshus, vårdlokaler, arbetsplatser och friluftsområden.

Det vanligaste måttet på trafikbuller är den A-vägda ekvivalenta kontinuerliga ljudtrycksnivån i decibel (dBA). Normalt avser detta värde ett medelvärde över en 24-timmarsperiod men även andra tidsperioder kan förekomma, till exempel dag, natt eller kväll. Bullernivån i en punkt beskrivs av ett frekvensspektrum som anger ljudstyrkan för olika frekvenser. Att rättvisande beskriva bullernivån med *ett värde* är därmed inte möjligt. Genom A-vägningen viktas olika frekvenser efter hur de uppfattas av det mänskliga örat (hörselanpassning). Det betyder att frekvenser som vi uppfattar tydligt och som störande viktas högt och knappt hörbara frekvenser viktas lågt.

Maximal ljudtrycksnivå är ett annat sätt att beskriva buller. Med lite varierande definitioner är syftet att fånga upp de högsta bullervärdena under en tidsperiod, till exempel nätter. En definition som förekommer är följande: den (lägsta) nivå som under aktuell period på dygnet överskrider högst x gånger³. Riktvärden och definitioner diskuteras i (Naturvårdsverket 2001).

Antalet personer som störs av buller från olika trafikslag visas i tabellen nedan.

³ Maximalnivå bestäms inte bara av ljudet i sig utan även av hur mätinstrumentet är inställt, dvs hur snabbt instrumentet reagerar på en ljudimpuls.

Tabell 3 Antal personer som störs ($< 55\text{dBA}_{\text{Leq } 24\text{h}}$) av buller från olika trafikslag. För drygt hälften av de som störs av flygbuller kommer störningen från militärt flyg. Källa: (Naturvårdsverket 2001).

Trafikslag	Antal exponerade	D:o (%)
Vägtrafik	1 450 000	72 %
Spårbunden trafik	500 000	25 %
Flyg	50 000	3 %
Sjöfart	<1000	<< 1%
Totalt	Ca 2 miljoner	100 %

2.3.4 Trängsel

Utan att göra anspråk på en formell definition så kan det konstateras att trängsel på något sätt hänger samman med otillräcklig kapacitet och större efterfrågan än tillgång på utrymme i tid eller rum. För vägtrafik handlar det om ett tillstånd då ökande trafikmängder minskar reshastigheterna och ger längre restider. Inom järnväg och flyg är det mera en fråga om spårkapacitet med hänsyn säkerhetsavstånd mellan tågset respektive tillgång till starter och landningar.

I fråga om effekter av marginellt tillkommande trafik och marginalkostnader, så uttrycker trängsel den extra restid som tillkommande trafik ger övriga trafikanter. För cost-benefit-analys är istället total restid, eller fördröjning jämfört med normal restid, mera relevant.

Det primära problemet vid trängsel är den förlängda restid som följer. Avgasemissioner och buller är andra viktiga problem men som i fråga om effekter hanteras för sig. Kvantifiering av trängsel innebär därmed uttryck för restidsfördröjning.

Trots att problem med trängsel har funnits under lång tid så är relativt lite gjort i fråga om kvantifiering och mått på trängsel. Ett försök till detta redovisades av Vägverket i rapporten *Trängsel i tätort – Stockholm, Göteborg och Malmö* (Vägverket 1999). Där introduceras begreppet *relativ hastighetsnedsättning* (RHS) som definieras som hastighetsnedsättningen i förhållande till friflödes hastigheten. Frågan om värdering av trängsel, i termer av förseningar och restidsosäkerhet, diskuteras av (Eliasson 2002).

Inom järnväg är såväl innebörden av trängsel som möjligheten att kvantifiera den annorlunda jämfört med vägtrafiken.

3 Kartläggning

I detta kapitel presenteras kartläggningen av effektsamband och effektmodeller. Dispositionen är sådan att varje transportslag diskuteras separat med en gemensam struktur inom respektive transportslag; först ett inledande allmänt avsnitt och därefter genomgång av respektive effektkategori (säkerhet, emissioner, buller och trängsel). De inledande avsnitten innehåller bland annat tabeller där effektsamband och viktiga förklaringsfaktorer sammanfattas. Där graderas också respektive effektkategoris relevans för aktuell transportslag.

Med relevans menas hur viktiga eller allvarliga effekter är för respektive transportslag. Säkerhet och miljö är stora problem inom vägtrafiken och ges därför hög relevans. Trängsel är å andra sidan ett relativt begränsat problem inom sjöfarten, varför relevansen där anges som låg. Kartläggning är i vissa delar relativt kortfattad och att det har inom ramen för projektet inte har varit möjligt att göra några djupare analyser av enskilda modeller. Graderingen av relevans måste därför tolkas med viss försiktighet.

3.1 Vägtrafik

3.1.1 Inledning

Omfattande kunskap finns idag om vägtrafikens effekter, men fortfarande är många områden eftersatta och det finns uttalad efterfrågan på mera kunskap och vidare forskning. Några aktuella exempel på områden där forskning pågår eller där vidare forskning krävs är: (i) bilförarens påverkan av användning av mobiltelefoner, (ii) bilkörning och trötthet, (iii) effekter av mötesfri landsväg (2+1) och andra ”nya” vägtyper, (iv) trafikantinformation och trafikstyrning vid trängsel i tätort, och (v) emissioner vid kökörning i låga hastigheter.

Kartläggningen av effektsamband för vägtrafiken bygger till största delen på Vägverkets effektkatalog *Effektsamband 2000* (Vägverket 2001) och på de beräkningsmodeller som finns implementerade i Vägverkets EVA-system. Effektkatalogen är mycket bredd i fråga om vilka effekter som behandlas. Den följande diskussionen handlar dock till största delen om nybyggnad och förbättring. Andra områden som effektkatalogen behandlar gäller kollektivtrafik, drift och underhåll, och så kallade sektorsuppgifter och myndighetsutövning.

Tabell 4 Sammanställning av effektsamband för vägtrafiken. Tabellen ger en kortfattad bedömning av effekters relevans och underlag i form av modeller, samt vilka faktorer som i första hand påverkar respektive effekt.

	Säkerhet	Emissioner	Buller	Trängsel
Relevans	Hög	Hög	Hög	Hög
Modeller	EVA/Samkalk	EVA/Samkalk (VETO, EMV) , NTM, COLDS-TART	Vägtrafikbuller (Naturvårdsverket, Vägverket et al. 1996)	EVA/Samkalk, Capcal, Sampers ⁴ , Emme/2, Stan, Nätra, Samgods, Contram, TRIPS, mikrosimulering
Faktorer	<ul style="list-style-type: none"> - Vägtyp - Linjeföring - Sidoområde - Länk- och korsningstyp - Tätort / landsbygd - Trafikflöde - Hastighet 	<ul style="list-style-type: none"> - Länk- och korsningstyp - Trafikflöde - Andel tung trafik - Bilparkens ålderssammansättning - Tätort / landsbygd - Körmönster - Drivmedel - Typ av parkering (användning av motorvärmare) 	<ul style="list-style-type: none"> - Trafikflöde - Tung trafik - Medelhastighet - Vägbeläggning - Avstånd - Topografi - Vegetation - Skärmar och vallar 	<ul style="list-style-type: none"> - Länk- och korsningstyp, eventuellt avgränsat nätverk - Trafikflöde - Andel tung trafik

⁴ Sampers inkluderar här en nationell och flera regionala modeller.

Tabell 5 Effektsamband för CBA inom vägtrafik. Tabellen anger de mest betydelsefulla effekterna av viktigare åtgärder och investeringar.

Åtgärd	Säkerhet	Emissioner	Buller	Trängsel
Infrastruktur				
<i>Vägbredd</i>	•	•		•
<i>Mittseparering</i>	•			•
<i>Korsn.utformn.</i>	•			
<i>GC-åtgärder</i>	•			
<i>Sidoområde</i>	•			
Fordonssammansättning				
<i>Ökad andel tung trafik</i>	•	•	•	•
Trafikreglering				
<i>Hastighetsgräns</i>	•	•	•	•
Övervakning				
<i>Hastigheter</i>	•	•		
<i>Alkohol</i>	•			
<i>Fordon</i>	•	•	•	
Sektorsuppgifter och myndighetsutövning				
<i>ITS</i>	•	•		•
<i>Kollektivtrafik</i>	•	•		•
<i>Förarutbildning</i>	•	•		
<i>Utskrotning</i>	•	•		
<i>Avgaskrav</i>		•		

3.1.2 Säkerhet

Effektsamband

Frågan om effektsamband för säkerhet på väg är mycket omfattande, både i fråga om områdets omfång och i fråga om den kunskap som idag finns inom området. År av forskning och systematisk uppföljning av trafiksäkerhetsstatistik har gjort att det idag finns betydande kunskap och mycket empiriska data. Den centrala frågan är främst hur antalet olyckor, fördelningen över olyckstyper, antalet dödade och antalet skadade kan förklaras av rådande omständigheter. Frågan spänner över ett vitt spektrum av åtgärder och förklaringsvariabler, till exempel:

- fordonsegenskaper,
- förarbeteende,
- körkortsutbildning,
- vägstandard,
- drift och underhåll,
- viltstängsel,
- siktförbättrande åtgärder,
- hastighetsbegränsningar och

- polisövervakning.

Vid samhällsekonomisk kalkyl är en central fråga hur trafikmängd eller hastighet, allt annat oförändrat, påverkar olycksrisken, och i vilken omfattning en åtgärd kan förväntas påverka olycksfrekvens och konsekvenser av olyckor. Den senare frågan är nära kopplad till cost-benefit-bedömningar; vilka åtgärder är samhällsekonomiskt lönsamma? Listan över möjliga åtgärder är, som tidigare nämnts, omfattande och av mycket varierande art. Några exempel, varav några från Vägverkets effekthandbok (Vägverket 2001), ges nedan.

- alkoholutandningsprov, vård av rattfyllerister, information för ökad nykterhet,
- sänkta hastigheter under mörker vintertid, eller allmänt valet av skyltad hastighet,
- hastighetsövervakning,
- säkrare vägar, till exempel s k 2+1-vägar,
- säkrare korsningar,
- körkortsutbildning, t ex övningskörning från 16 års ålder,
- dynamiska hastigheter och
- förbud mot mobiltelefon vid körning.

För åtgärder av denna typ finns i många fall empiriskt underlag för bedömning av effektutfall och i andra fall, ofta gällande nya lösningar eller ny teknik, pågår forskning och utvärdering. Det senare gäller t ex utvärdering av mötesfria vägar av 2+1-typ (Carlsson 2002) och forskning om säkerhetseffekter av användning av mobiltelefonen under körning (pågående studie 2003).

Hastighetens betydelse för olycksfrekvens och skadeutfall kan, som en tumregel, uppskattas med *Potensmodellen* (Nilsson 2000). Enligt modellen är antalet personskadeolyckor proportionellt mot kvadraten på hastigheten och antalet dödsolyckor är proportionellt mot fjärdepotensen av hastigheten. Innebörden är att antalet olyckor efter en hastighetsförändring ges enligt:

$$\text{Antal personskadeolyckor}_{\text{EFTER}} = \text{Antal personskadeolyckor}_{\text{FÖRE}} \cdot \left(\frac{v_{\text{EFTER}}}{v_{\text{FÖRE}}} \right)^2,$$

$$\text{Antal dödsolyckor}_{\text{EFTER}} = \text{Antal dödsolyckor}_{\text{FÖRE}} \cdot \left(\frac{v_{\text{EFTER}}}{v_{\text{FÖRE}}} \right)^4.$$

Hastigheten (v) avser här faktisk hastighet, uttryckt som t ex medel eller medianhastighet, alltså inte aktuell hastighetsgräns. Distinktionen mellan faktisk och skyltad hastighet är viktig även i många andra sammanhang. För att till exempel belysa effekten av förändrade hastighetsgränser så är det nödvändigt att i första steget uppskatta den faktiska effekten, och först därefter bedöma den på så sätt erhållna skillnaden i reell hastighet mellan före- och eftersituationen.

För samhällsekonomisk bedömning av åtgärders lönsamhet eller för uppskattning av marginalkostnader är det i första hand infrastrukturens betydelse och effekter av ökad trafik som måste belysas. Under antagande om att övriga förutsättningar hålls konstanta, i fråga om hastighetsgränser och andra typer av åtgärder

enligt listan ovan, handlar resten av avsnittet om vägstandardens och trafikmängdens betydelse.

Förbättrad vägstandard, med högre hastighetsgränser och högre faktisk hastighet, kan leda till nygenerering eller omflyttning av trafik. Det betyder att det i praktiken inte går att räkna med konstanta förhållanden i fråga om trafikvolym. I diskussionen nedan beaktas inte denna typ av ”systemeffekter”. Det som förändras, t ex ett vägavsnitt eller en korsning, betraktas istället som ett isolerat objekt.

Vägverkets trafiksäkerhetsmodell i EVA utgår från en uppdelning av vägnätet i länkar och noder, och bygger på antagandet om att dessa kan hanteras oberoende av varandra. Den uppskattade trafiksäkerhetsnivån uttrycks med *normalvärden* för *olyckskvot* (olyckor⁵ per miljon axelparkilometer), *skadeföljd* (skadade inkl dödade per olycka), *allvarlighetsföljd* (svårt skadade eller dödade per olycka) och *egendomsföljd* (egendomsskadeolyckor per olycka). Modellen omfattar ett femtiotal typlänkar, bestämda av vägtyp⁶, hastighetsbegränsning, vägmiljö⁷ och vägfunktion⁸. För en korsning krävs uppgift om primär- och sekundärväg, hastighetsgräns, vägmiljö/funktion, trafik och korsningstyp⁹. Normalvärden tolkas genomgående som genomsnittsvärden för riket för respektive länk- och korsningstyp. Värdena avser förhållandena på befintliga vägar de senaste fem åren. Eftersom det är empiriska värden, så avses genomsnittliga förhållanden för typlänkarna. Vid analys av speciella objekt kan normalvärdena justeras och mera specifikt anpassas till det aktuella objektet och de speciella förhållanden som råder där.

För olyckor (ej viltolyckor) anger modellen, för olika typlänkar och i form av tabeller, olyckskvot, skadeföljd, allvarlighetsföljd och egendomsföljd. För viltolyckor anges endast antal olyckor per år och kilometer (älg respektive rådjur/ren) beroende på län och trafikklass. Skadeföljd, allvarlighetsföljd och egendomsföljd bestäms för viltolyckor av vägens hastighetsgräns. För korsningar används olika beräkningsmetoder för motorfordonsolyckor exklusive vilt respektive GC-olyckor.

I EVA-modellen kommer hastighetens inverkan på säkerheten in genom en uppdelning med olika tabellvärden för olika hastighetsgränser. För en och samma vägtyp och bredd anges de olika kvoterna (olyckskvot etc.) separat för olika hastighetsgränser. Man kan konstatera att olyckskvoten ofta minskar under ökande hastighetsgräns, vilket betyder att risken för en olycka skulle vara lägre ju högre hastighetsgräns som råder. Denna slutsats, som vid en första anblick kan verka överraskande, beror till största delen på skillnader i standard och förekomst av t ex korsande vägar. Eftersom hastighetsgränsen primärt väljs utifrån vägstandard kan hastighetsgränsen därmed indirekt ses som ett mått på vägstandard. Om man istället för olycksfrekvens tittar på konsekvenser så blir bilden den omvända: högre andel olyckor med personskador på vägar med högre hastighetsgräns. Se figur nedan.

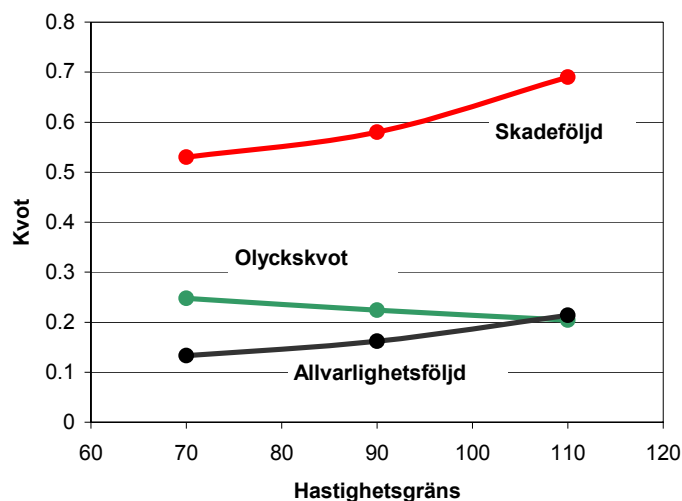
⁵ Med olycka menas här genomgående polisrapporterade olycka.

⁶ Vägtyp: motorväg, motortrafikled, mötesfri motortrafikled, fyrfältsväg landsbygd, mötesfri landsväg, vanlig väg, flerfältsväg tätort.

⁷ Vägmiljö: landsbygd, tätort – ytterområde, tätort – mellanområde, tätort – centrumområde.

⁸ Vägfunktion: genomfart/infart, tangent (förbinder tätortsområden utan att passera centrum), citygata

⁹ Mindre korsningstyper, cirkulationsplats, signalreglering, helt eller delvis planskilt



Figur 2 Exempel på hur olyckskvot, skadeföljd och allvarighetsföljd beror av hastighetsgräns. Här motortrafikled med två körfält. Underlag: (Vägverket 2001).

Vid marginalkostnadsberäkning söks den förväntade externa kostnad som motsvaras av den extra risk som tillkommande trafikanter ger övriga trafikanter. En central fråga är därmed hur risken för olyckor och konsekvensen av inträffade olyckor beror av trafikmängden. Enligt det statistiska underlag som ingår i EVA-modellen framgår att det för landsvägstrafik inte finns något empiriskt stöd för att olyckskvoten ökar med ökande trafik. *Antalet* olyckor ökar naturligtvis i takt med att trafiken ökar, men sett i förhållande till trafikmängden är nivån alltså relativt konstant. Vid uppskattning av det förväntade antalet olyckor på en väg kommer därmed trafikmängden, uttryckt i årsdygnstrafik (ÅDT), endast in vid övergången från olyckskvot till absolut antal.

För att förstå denna effekt krävs först nedbrytning på olyckstyper. Vid låga trafikflöden dominerar singelolyckor, samtidigt som olyckor med flera inblandade bilar är ovanligt. I takt med ökande trafikmängd ökar sedan antalet möten mellan fordon i olika riktning¹⁰. Detta leder till ökande risk för t ex omkörningsolyckor, samtidigt som risken för singelolyckor minskar med ökande trafik. Den sammantagna effekten är att förändringar i risker för olika olyckstyper, under ökande ÅDT, grovt sett tar ut varandra och att den totala olyckskvoten förblir relativt oförändrad.

Det ska här observeras att det i många fall finns faktorer som inte ingår i modellen men som samvarierar med trafikflödet. Många singelolyckor inträffar nattetid då trafikflödet är lågt men trafikflödets låga nivå har då i sig ingen inverkan. Det handlar då istället ofta om andra faktorer, till exempel mörker eller att förare agerar på ett sätt som de inte skulle göra dagtid (trötthet, hastigheter, alkohol etc.). Vidare är det från statistiken svårt att dra några slutsatser om hur höga eller låga timflöden påverkar olycksrisken.

¹⁰ Man kan enkelt visa att antalet möten är proportionellt mot produkten av flöden i respektive riktning och, om flödet är lika fördelat mellan riktningarna, att antalet möten ökar med kvadraten på trafikflödet.

För uppskattning av marginalkostnader är det också väsentligt att se till skadeutfall; hur antalet dödade och svårt skadade (DSS-kvoten) beror av årsdygnstrafiken. Enligt EVA-modellen är varken skadeföljd, allvarlighetsföljd eller skadesammansättning differentierad efter ÅDT. Vid extremt höga ÅDT, med överbelastning och markant sänkta reshastigheter vid topptimmarna, så sjunker DSS-risken. Det blir då en stor andel upphinnandeolyckor som i regel har låg skadeföljd. Dettas visas av det faktum att det mest trafikerade vägnätet inte har samma trafiksäkerhetsproblem som vägnätet i övrigt (Carlsson 2003). Flera analyser (Bergh 2003) pekar på att DSS-kvoten och allvarlighetsföljderna sjunker med ökande trafikflöde vid konstant hastighetsgräns och vägbredd. Denna effekt är dock starkt kopplad till det faktum att vägstandarden (anslutningar, korsningar, sidoområde etc.) ökar med ökande flöde. Å andra sidan ökar dock också hastigheterna normalt vid bättre vägstandard.

Det som här har sagts om trafikmängdens betydelse för olycksrisken avser i första hand olyckor med enbart motorfordon. Olyckor med motorfordon och oskyddade trafikanter (gång och cykel) bör ha annat beroende av trafikflödet. Frågan om trafikmängdens betydelse för olycksrisken diskuteras också av (Johansson 2000).

Vad som har sagts ovan avser i första hand länkar. Omfattande kunskap finns också om korsningar och hur olycksrisken beror av utformning och av ingående trafikflöden; se vidare Vägverkets effekthandbok (Vägverket 2001).

Kommentar

Efter år 1999 ingår endast trafikolyckor med personskador i Vägverkets olycksregister. Det innebär att hittills använda samband som bygger på total olyckskvot – inklusive egendomsskadeolyckor – behöver justeras. Från och med 2003 sker också olycksregistrering i ett nytt system (STRADA). I det tidigare systemet baserades inmatade uppgifter på polisens skriftliga olycksrapporter. I det nya systemet kommer polisen och även sjukvården att direkt rapportera till databasen. En förutsättning för fortsatt arbete med olycksanalys är att tidigare möjligheter till datauttag kan garanteras även från det nya systemet.

Länkmodellen hanterar motorfordonsolyckor där olyckor med cyklister/mopedister eller fotgängare utgör en andel. Det är dock motorfordonet som bestämmer exponeringens storlek liksom beskrivningen av vägmiljön.

Trafiksäkerhetsmodellen beaktar inte flödets (svaga) inverkan på olycksrisken och att sammansättningen av olyckstyper kan förändras då flödet ökar (fler upphinnandeolyckor, färre singelolyckor). Enligt Östen Johansson (Vägverket) har en särskild modul utvecklats för singel- och mötesolyckor som funktion av flöde.

Med korrektionsfaktorer kan olyckskvoten för en viss vägmiljö ändras beroende på siktförhållanden beskrivna genom måttet siktklass¹¹. För en bestämd vägmiljö kan olyckskvoten variera med 10-15 procent beroende på siktklass. Siktklass finns inte som variabel i Vägdatabanken och de använda korrektionsfaktorerna kan betraktas som osäkra.

Många av sambanden och risknivåerna bygger på material som härrör från 1980-talet. För att ta hänsyn till förändringar och få överensstämmelse med stati-

¹¹ Siktklass bestäms av andel av väglängden där sikten överstiger 500 meter. Siktklass 1 \geq 70%, klass 2 40-70%, klass 3 20-40%, klass 4 <20%.

stik på makronivå görs vissa justeringar. Exempelvis skrivs olyckskvotsvärdena ner med ca 2 procent per år.

För att beskriva trafiksäkerheten på väglänkar med utformning som saknas bland 50-talet typlänkar, måste olycksmåtten justeras utifrån kända effekter av olika åtgärder. Det empiriska underlaget för effektbedömning kan vara bristfälligt när det gäller åtgärder som kommit till användning först under senare år, exempelvis mittseparering av olika utformning på s.k. 2+1-väg.

Östen Johansson uppger också som en brist och begränsning att endast ett fåtal personer har tillräcklig kunskap om modellverktygen för att använda dem korrekt.

I det nu pågående EMV-projektet (Effektmodeller för vägtrafikanläggningar) konstateras att för olika åtgärder är kunskapen om trafiksäkerhetseffekter och samband större avseende landsbygdsförhållanden än tätort. För båda miljöerna är kunskapen bättre för korsningar än för länkar. Kunskapen om trafiksäkerheten i cirkulationsplatser på landsbygd bedöms dock som otillräcklig. Mer nollvisionsanpassade riskmått som tar sikte på antal dödade eller svårt skadade personer efterlyses liksom att olyckstyp beaktas i större utsträckning, vidare att flödets inverkan på riskmåtten utreds ytterligare. I och med att Vägverket övergår till att redovisa fordon och inte axelpar i sina trafikmätningar bör även de olika kvoterna beräknas med fordonskilometer i nämnaren¹². Vidare saknas idag modeller som visar varför en 90-skyltad väg kan ha lägre kvoter än 70-vägar. Det saknas också modeller som visar normalkvoter för idag ej existerande kombinationer av vägtyp, bredd och faktisk hastighetsnivå (t.ex. vid skyltat 80, 100 och 120 km/h). Avsikten är dessa problem ska beaktas inom EMV-projektet.

För det icke-statliga vägnätet, dvs. främst kommunala vägar, är tillgången sämre vad gäller data som beskriver olycksmiljön, vilket innebär att erforderliga indata för användning av olycksmodeller kan saknas. För modellerna i EVAKORS har speciella inventeringar genomförts.

En fullständig bild av olycksutvecklingen och uppgifter om det verkliga antalet trafikolyckor som inträffar kräver någon form av uppskattning av ”mörkertalet”. Det vill säga olyckor som aldrig kommer till polisens eller sjukvårdens kännedom. Oftast rör detta sig om olyckor utan personskador, men för en korrekt bild av helheten är de ändå viktiga att dessa räkna in. Det görs idag genom uppräkningsrapporterade olyckor, baserat på en uppskattad uppräkningsfaktor.

Sammanställning av brister i EVA-modellens trafiksäkerhetsmodell baseras här i första hand på ett PM från Vägverket (Johansson 2002).

3.1.3 Emissioner

Effektsamband

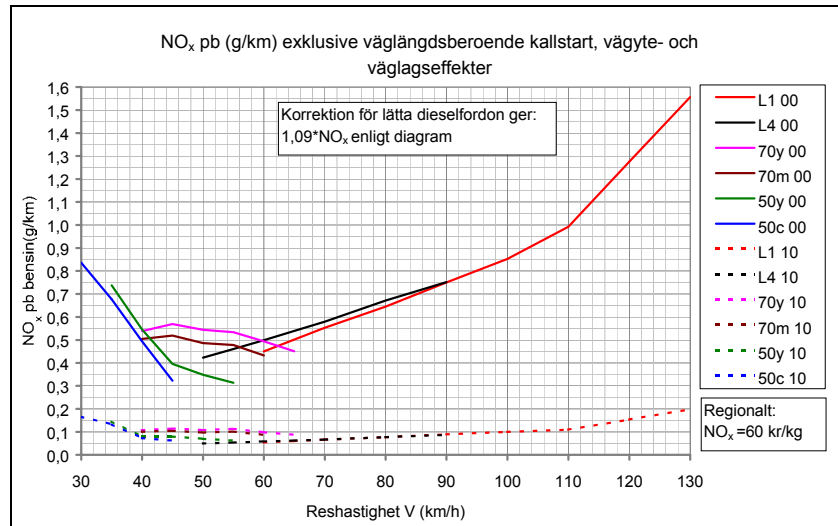
Genom Vägverkets effektsamband i EVA-modellen uppskattas utsläppsmängder¹³ av CO₂, SO₂, NO_x, HC och partiklar. Det görs för valt år och för *lätt fordon*, *tungt fordon* och *tungt fordon med släp*. I modellen beräknas utsläpp på *länkar* och i

¹² Vägverket övergick redan 1989 till mäta fordon snarare än axelpar men rapporteringen (TA-rapporterna) har t o m 2001 avsett axelpar. Framöver kommer redovisningen att avse fordon och eventuellt också axelpar.

¹³ Observera skillnaden mellan *utsläppsmängd* (gram) och *halt* i luften (ppm).

korsningar separat, och det antas därmed att dessa effekter är oberoende av varandra (samma antagande som inom trafiksäkerhet).

EVA-modellen baseras på grundläggande uppskattningar av utsläpp per fordonskilometer och per korsning vid olika reshastigheter och för olika körförlopp. Detta uttrycks genom samband av den typ som visas i figuren nedan



Figur 3 Exempel på beräkningsunderlag för utsläppsberäkning i Eva. Här anges gram NO_x per fordonskilometer för personbil vid olika reshastigheter och för olika körförlopp (L100, L400, 70y00,...). Heldragna kurvor motsvarar år 2000 och streckade 2010. Skillnaden beror på olika teknisk utveckling och skillnader i modellsammansättningen.

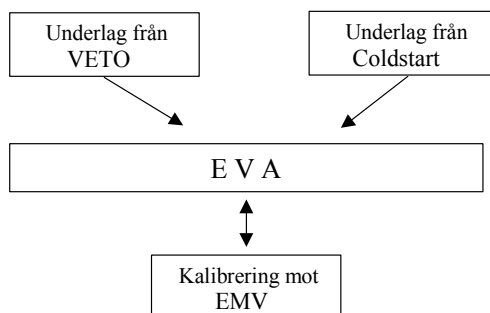
På den lägsta nivån, och som underlag för de mer aggregerade utsläppsberäkningar som görs i EVA-modellen, ligger så kallade motormappar. På bilmodellsnivå uttrycker de momentan bränsleförbrukning¹⁴ och utsläpp av NO_x, CO, HC och partiklar; detta som funktion av varvtal och vridmoment. Genomsnittliga nivåer för olika eftersträvade hastigheter, räknat över en vägsträcka eller genom en korsning, beror sedan på antaganden om körförlopp. Eftersom motormapparna är modell- och årsmodellspecifika ingår i praktiken också modellsammansättningen aktuellt år som en viktig förutsättning.

Det är genom VTI:s VETO-modell (Hammarström and Karlsson 1987) som ovanstående typ av beräkningar görs, vilket resulterar i underlag till EVA-modellen för bränsleförbrukning och utsläpp vid olika reshastigheter, för olika fordonsmodeller och för olika körförlopp. VETO-modellen uppskattar på mekanistisk grund bränsleförbrukning och emissioner vid givet färdmotstånd och för given körförlopp. De olika körförlopp som studeras motsvarar i landsbygdsfallet variationer på grund av antagen plan- och profilstandard, och i tätort av hastighetsvariation på grund av störande flöde genom till exempel anslutningar.

Beskrivningen baserad på motormappar avser fullt uppvärmd motor. Det merutsläpp som kallare motor innebär, hanteras i modellen genom ett särskilt kallstartstillägg. Storleken på kallstartstillägget är beroende av bland annat lufttemperatur, mönster för bilanvändning (parkeringstid), typ av parkering och, för fördelning på länkar, genomsnittlig tidigare körsträcka. Underlaget till EVA för beräkning av kallstartstillägg har tagits fram med programmet/modellen Coldstart

¹⁴ Mängden utsläpp av CO₂ och SO₂ beräknas direkt från bränsleförbrukningen.

(Hammarström and Edwards 1999). Vidare ingår i underlaget uppskattning av olika typer av avdunstning. För årsvis kalibrering av EVA-modellen används VTI:s EMV-modell (Hammarström and Karlsson 1998). EMV är en makromodell med vars hjälp totala emissioner och bränsleförbrukning på nationell nivå uppskattas. Kopplingen mellan EVA och de bakomliggande modellerna VETO, Coldstart och EMV beskrivs av figuren nedan.



Figur 4 EVA-modellen i relation till modeller för bestämning av underlag (VETO och Coldstart) och för årsvis kalibrering (EMV).

Utsläppsmängden (gram/fkm) för en viss fordonskategori bestäms i EVA-modellen huvudsakligen av antaget *körförlopp*¹⁵, *medelreshastighet* och bilparkens *modellsammansättning*¹⁶. EVA-modellen hanterar nio olika körförlopp, representerande landsväg av olika siktklasser och olika typer av vägar/gator i tätort. Indelningen i siktklasser används här för att fånga upp vägens linjeföring. Vägytans påverkan på utsläppsmängden beskrivs genom särskilda tillägg för olika ämnen och olika vägytor (snö, våt väg och olika IRI-värden). För beräkning av den totala utsläppsmängd för en länk fördelas kallstartstillägg och tillägg för avdunstning efter schablonvärden på genomsnittlig tidigare körsträcka. Detta kan göras enligt en beräkningsmodell baserad på *traffic assignment* (Edwards 1998).

Underlaget avseende utsläppsmängd per fordonskilometer täcker inte lägre hastighetsintervall, varför modellen inte direkt är tillämplig för överbelastade förhållanden. Genom förenklade antaganden och schabloner finns i EVA anvisade metoder för att komma runt denna brist. Fullständig analys kräver dock en mera ambitiös modell och underlag som även täcker lägre hastighetsintervall och motsvarande körprofiler. Ett sådant arbete har inletts med VETO-analyser av körförlopp motsvarande tunnelkörning i lägre hastigheter.

För korsningar beräknas det merutsläpp som stopp och återacceleration till ursprungshastigheten innebär. Liksom vid beräkningen för länkar behandlas olika fordonskategorier separat. Utgångspunkten är genomsnittlig reshastighet (den nivå vid vilken inbromsning sker) och andel trafik som måste stoppa eller svänga vid korsningen. Förändrad modellsammansättning gör, liksom tidigare, att teknisk utveckling tar sig uttryck i förändrad modellsammansättning.

¹⁵ Med körförlopp menas hastighetsvariationen kring medelhastigheten. Körning i tätort innebär till exempel normalt mera acceleration och inbromsning än körning på landsväg.

¹⁶ Modeller avser både årsmoeller och kategorier (miljöklasser). Beräkningen av utsläppsmängder avser bensindrivna personbilar. En särskild justering görs därför för lätta dieselfordon.

Genom tillämpning av de beskrivna effektsambanden kan totala mängden CO₂, SO₂, NO_x, HC och partiklar uppskattas för enskilda länkar/noder eller för hela nätverk. Effekten av olika åtgärder kan också analyseras, ofta genom den förändring av reshastighet som åtgärden innebär.

Kommentar

Brister och osäkerhet i nuvarande effektsamband kan hänföras till EVA-modellens utformning och till osäkerhet i *dataunderlaget*¹⁷. Uppskattning av vägtrafikens emissioner och bränsleförbrukning är tämligen komplext. Beräkningar och underlag bygger ofta på långa kedjor av empiriska data, antaganden och delmodeller. Det är av den anledningen inte möjligt att här i detalj belysa brister och möjligheter till förbättringar. Av samma skäl är det i flera fall svårt att bedöma effekten av olika brister; vad är stort och smått? I flera fall handlar det om kända brister medan det i andra fall kan handla om teoretiskt uppenbara brister men av en typ som vid praktisk tillämpning endast har mindre inverkan på resultatet.

Beträffande osäkerhet i beräkningsunderlaget kan det konstateras att valideringar av VETO-modellen (Hammarström 1999) visar på tillförlitlig beskrivning av bränsleförbrukning och utsläpp av CO₂ och SO₂. Beskrivningen av HC- och NO_x-utsläpp är inte fullt så god med ändå av acceptabel kvalitet. Valideringen avser i och för sig ett speciellt fordon och utgör därmed ingen garanti för motsvarande goda resultat i EVA, där en blandning av olika fordonstyper antas.

Metodmässigt bygger VETO på beräkningar på medelvärdesbildade förutsättningar. Det betyder till exempel att personbilar av en viss ålderskategori representeras av *en* fordonsbeskrivning, som i bästa fall utgör en väl avvägd representant för gruppen. På samma sätt antas medelvärden och representanter, istället för hela fördelningar, av körförlopp, växlingsbeteende och vägbeskrivningar. Eftersom utsläppen har icke-linjärt beroende av sådana indata *kan* sådan medelvärdesbildning av indata ge andra resultat än vad en mera korrekt medelvärdesbildning av utdata för en fördelning av indata skulle ge.

Till osäkerheten i underlaget från VETO tillkommer också osäkerhet i använda data. Det gäller främst motormappar och fordonsegenskaper. Fordonsvikter och fordonsprestanda har till exempel ökat under nittioåret, vilket inte fångats upp. Även i fråga om körmönster kan förutsättningarna i VETO vara tveksamma.

Ett annat exempel på kända brister i VETO är effekten av varierande katalysator-temperatur under körning. Det är till exempel känt att längre perioder på tomgång ger ökade utsläpp vid efterföljande acceleration, vilket inte beaktas i effektsambanden.

Kallstartstilläggen i EVA baseras, som tidigare nämnts, på beräkningar med Coldstart. Bristerna kan där till största delen hänföras till osäkerhet i beräkningsförutsättningarna, till exempel genomsnittliga reslängder och parkeringstider, chassidynamometer underskattar färdmotståndet och svagheter i använda körcykler.

En brist i EVA-modellen är den upplösning med vilken indata kan anges. Det gäller till exempel antalet väg/länk- och fordonstyper. Varje fordonstyp har vidare bara en drivmedelstyp. På landsbygd motsvarar länktypen med siktklass 1 en väg

¹⁷ Med underlag menas här underliggande dataunderlag för beräkningarna, till exempel utsläppsfaktorer och kallstartstillägg.

med sämre standard i fråga om linjeföring än motorväg, varför utsläpp på motorvägar riskerar att överskattas.

Ett generellt problem är hanteringen av tät trafik och köbildning. För det första förutsätter uppdelningen på länkar och noder att dessa kan hanteras oberoende av varandra. Vid trängsel tenderar dock fördröjningar i korsningar att sprida sig ut på bakomvarande länkar och dra ned hastigheten på dessa. Ett annat problem är att underlaget från VETO, som anger utsläppsnivå per fordonskilometer som funktion av medelreshastighet, inte täcker låga hastigheter. Ett angränsande problem är att retardations- och accelerationsnivåer under verkliga förhållanden påverkas av trafikmängden och trafiksammansättningen, vilket inte beaktas.

I beskrivningen av kallstartstillägg och effekter av avdunstning finns det flera faktorer som kan förbättras, särskilt med avseende på geografisk utläggning och beskrivning på länknivå. Fördelningen på länkar bygger på schabloner för genomsnittlig tidigare körsträcka som i sig innebär osäkerhet men dessutom tas inte hänsyn till motoruppvärmningens beroende av hastighet. Vidare finns det flera problem i beskrivning och geografiska utläggningen av avdunstning¹⁸.

Andra brister i EVA-modellens utformning är att ingen hänsyn tas till tomgångseffekter, att mera komplicerade trafikplatser¹⁹ eventuellt inte kan beskrivas tillfredsställande, och att ingen hänsyn tas till vägens lutning. Det vore också önskvärt om flera ämnen kunde beskrivas. Modellen hanterar idag hälften av de 13 ämnen eller grupper av ämnen med fastställda mål eller gränsvärden.

Ovanstående beskrivning av brister i nuvarande modeller för effektberäkning²⁰ baseras främst på (Hammarström 1999) och interna arbetsdokument från VTI.

På en övergripande nivå kan det konstateras att andelen tung trafik, och i storstäderna mängden trängsel, har en avgörande inverkan på bränsleförbrukning och emissioner. Korrekta antaganden om trafiksammansättningen (andelen tung trafik) och bättre hantering av kökörning och trängsel måste därför ses som avgörande vid emissionsberäkningar.

3.1.4 Buller

Bullerproblem uttrycks som objektiva eller subjektiva effekter. Objektiva effekter tar inte hänsyn till hur buller uppfattas eller *hur* störda exponerade personer blir, utan endast förväntad eller uppmätt ljudnivå. Ett vanligt sätt att formulera den objektiva effekten är som antal personer som exponeras för buller i olika intervall, till exempel 40-50, 50-60, 70-80 dBA. Vid ekonomisk värdering ansätts på motsvarande sätt kostnader per person i olika intervall. Alternativt talar man om subjektiva effekter, vilket betyder att det inte i första hand är den dokumenterade bullernivån som bestämmer effekten utan hur exponerade personer uppfattar störningen. Ett sådant mått är antalet störda personer.

För uppskattning av bullereffekter hänvisar Vägverkets effektkatalog (Vägverket 2001) till en gemensam nordisk beräkningsmodell (Naturvårdsverket, Vägverket et al. 1996). Den används idag för beräkningar gällande såväl alstring som spridning av buller. Eftersom buller från vägtrafiken bland annat bestäms av egenskaper hos förekommande fordonsmodeller måste beräkningsmodeller juste-

¹⁸ *Hot soak* (varm-avdunstning) och *diurnal* (avdunstning vid parkering).

¹⁹ Till exempel cirkulationsplatser och planskilda korsningar.

²⁰ EVA 2.31

ras över tiden och hänsyn tas till förändringar i bilparkens sammansättning. Den nordiska modell som nu används baseras på mätningar från perioden 1985-95. Revidering av denna modell pågår dock. Inom ramen för EU-projektet HARMONOICE pågår också utveckling av en gemensam europeiskt bullermodell. Den senare kommer på sikt att användas även i Sverige och därmed, åtminstone delvis, ersätta nuvarande nordiska modell.

Vi beskriver här kortfattat den nu använda nordiska modellen. I följande avsnitt diskuteras brister i denna och de förbättringar som revideringen och den nya europeiska modellen kommer att innebära.

Utgångspunkten i den nordiska modellen är beräkning av förväntad bullernivå i en given observationspunkt vid en trafikerad väg. Modellen beräknar antingen den så kallade A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivån eller maximal ljudtrycksnivå. Trafiken beskrivs i första hand av aktuellt trafikflöde, medelhastighet och andel tung trafik, och lokala omständigheter av avstånd från vägen mittlinje²¹, topografien²², markens beskaffenhet (hård eller mjuk), reflexioner och eventuell förekomst av jordvallar eller skärmar (läge, höjd och tjocklek). Vinden antas vara neutral eller mycket måttlig. Ljudutbredningen i motvind innebär allmänt ett betydligt svårare fall än även kraftig medvind.

Beräkningar med modellen sker i ett antal steg. Eventuellt måste den studerade vägsträckan delas upp i delsträckor, så att ljudpåverkan på observationspunkten är relativt konstant inom respektive sträcka. I första steget beräknas ett utgångsvärde, motsvarande odämpat buller på 10 meter från mittlinjen. Kommande steg innebär sedan diverse justeringar och korrigeringar med hänsyn till bland annat markförhållanden och avstånd. Trafikmängden kommer in redan i det första steget. Till sammans med medelhastigheten bestäms där det ojusterade utgångsvärdet enligt formler eller från en typ av diagram som visar dels hur bullernivån beror av medelhastigheten på vägen och dels av trafikmängden. Det senare är av särskilt intresse för resonemang med marginalkostnader. Den effekt som marginella förändringar av trafikarbetet har kan därmed direkt uppskattas från grafen. Tumregel-mässigt gäller att bullernivån ökar med 10 dBA då trafikmängden tiodubblas.

Genom tillämpning av modellen kan effekten av olika bullerdämpande åtgärder uppskattas. I punktform ges nedan några sådana exempel.

- *Skyddsavstånd.* En fördubbling av vägavståndet mellan väg och mottagare innebär att ljudnivån sjunker med 3-6 dB(A) i ekvivalent ljudnivå och 6-12 dB(A) i maximal ljudnivå.
- *Effekten av en sänkning av tillåten hastighet* kan beräknas enligt nordiska beräkningsmodellen. Svårigheten är att bedöma vilken verklig hastighets-sänkning en förändring av tillåten hastighet ger. En verklig sänkning av hastigheten med 10 km/h ger en bullerreduktion på 1-2.5 dB(A).
- *Bullerskärmar och bullervallar* kan reducera ljudnivån utomhus med 6-12 dB(A). Reduktionen inomhus är något lägre.

²¹ Modellen är giltig högst 300 meter vinkelrätt från vägen.

²² Med topografi avses här höjdprofil under en rät linje mellan vägen och aktuell observationspunkt, samt av synvinkeln i den aktuella punkten. Med det senare menas den vinkel under vilken som vägen är synlig. Höjdkurvan anges som de närmaste av ett antal givna typfall.

- *Fasadåtgärder*. Beroende på förutsättningarna kan fasadåtgärder ge en bullerreduktion på över 10 dB(A).
- *Beläggingsåtgärder*. Nya typer av dränasfalt kan ge bullerreduktion på 4-8 dB(A).
- *Bygga tunnlar i tätbebyggt område* reducerar väsentligt bullerexponeringen men är en mycket dyrbar metod. Hur stor bullerreduktionen blir är beroende av hur mycket trafik som blir kvar på den befintliga vägen. En halvering av trafiken ger en bullerreduktion på 3 dB(A).

Det som hittills har sagts om buller avser uppskattning av bullerimmission i en given observationspunkt från en närbelägen väg. För beräkning av total ljudtrycksnivå i en punkt måste bidrag från olika källor på något sett adderas.

Enligt gängse sätt att bedöma effekten av buller så har betydande buller i en punkt utan personer som vistas där ingen betydelse, samtidigt som en lägre nivå i ett befolkningstätt område kan utgöra ett allvarligt problem och en betydande effekt. Både den subjektiva och objektiva effekten beror alltså av en kombination av faktisk bullernivå och antal exponerade personer. Genom denna information kan till exempel antal personer i olika intervall av ljudtrycksnivån beräknas, och eventuellt kombineras med motsvarande ekonomiska värdering. För denna typ av tillämpningar finns särskilda datormodeller utvecklade, där såväl underlag för bulleruppskattning som befolkningsdata ingår som förutsättningar.

Kommentar

Den nordiska beräkningsmodellen anses i stort sett vara tillförlitlig (Sandberg 2002). Inga avgörande förändringar kommer att ske i och med den pågående revideringen, utan mera vara en fråga om uppdatering av det empiriska underlaget med hänsyn till förändringar av bilparkens sammansättning.

En brist i modellen är det faktum att hastigheten förutsätts vara konstant. Varierande hastigheter med upprepade inbromsningar och accelerationer, till exempel på grund av trafikstockningar och köbildning (stop-and-go trafik), kan därmed inte hanteras på ett tillfredsställande sätt. Olika körsättet, med olika acceleration och varvtal, kan ge skillnader på upptill 4 dB.

Likaså är effekten av korsningar bristfälligt hanterat. Internationellt finns mikromodeller som kan beräkna bulleremission från ett specifikt fordon under given körcykel. Motsvarande typ av modell är under utveckling på VTI. Det ska dock noteras att denna typ av mikromodeller inte ersätter aggregerade modeller av den typ som den nordiska modellen utgör, utan snarare kan utgöra underlag för vidareutveckling av densamma. Motsvarande modellnivåer, med mikro- och makromodeller, finns inom området avgasemissioner.

I fråga om lokala förhållanden är effekten av reflexioner ofta viktig. Den nordiska modellens hantering av reflexioner måste anses som något bristfällig, vilket kommer att åtgärdas i revideringen. Topografin har också stor inverkan på bullernivån. Detta hanteras i modellen på ett i sig acceptabelt sätt. Vid praktisk tillämpning kan dock brist på indata bidra till lägre noggrannhet i resultaten.

Vägytans kondition (torr, snö eller våt) är vidare en faktor som inte ingår i modellen. En våt väg kan ge ca 5 dB högre bulleremission än samma väg i torrt skick. Notera att saltning av vintervägar, av den anledningen, ger ökat buller. Uppskattningar pekar på en ökning med ca 2 dB(A). Användning av dubbdäck,

som ger ökat buller, är ytterligare en faktor som inte hanteras av den nordiska modellen.

Rent allmänt kan modellen sägas vara utformad för sommarförhållanden med torr vägbana och bilar utan dubbdäck. Ett argument för eller förklaring till varför detta skulle vara tillräckligt, och till och med önskvärt, är att sommaren är den period på året då folk vistas ute mest och då kan antas vara mest känsliga för trafikbuller.

3.1.5 Trängsel

Effektsamband

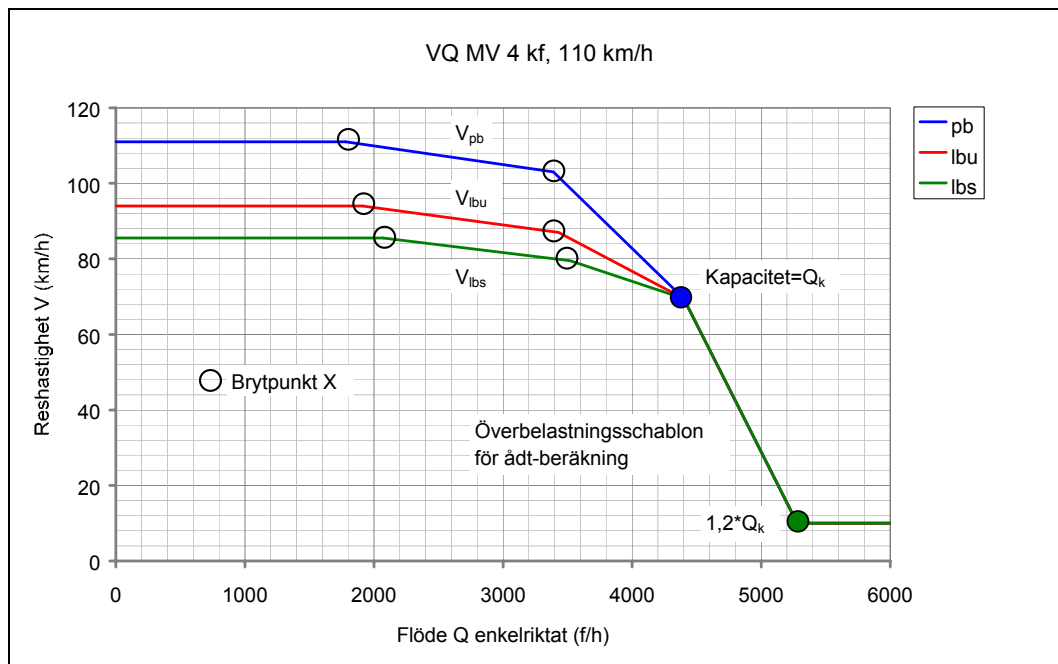
Frågan om effektsamband för restider handlar om enskilda länkar och korsningar och om beräkning av restider i nätverk; motsvarande tillämpningar på enskilda objekt respektive mera övergripande samhällsekonomisk analys. Under senare år har flera nya tillämpningar kommit inom ITS-området. Tillämpningar där restidsberäkning, utgående från kontinuerliga trafikmätningar, ofta sker i realtid.

Beräkning av restider i nätverk hänger nära samman med uppskattning av resefterfrågan (OD-matriser) och fördelning av trafik på rutten. Den följande diskussionen handlar i första hand om restider på enskilda länkar/korsningar och om delar av de beräkningar och det underlag som krävs vid nätverksanalys.

Restiden eller medelhastigheten på en länk beror i första hand på hastighetsrestriktioner, vägens utformning och aktuellt trafikflöde. Medelhastigheten är olika för olika fordonsslag och hastigheten för personbilar påverkas av andelen tung trafik. För korsningar bestäms restiden eller fördröjningen av utformning²³ och trafikflöden på primär- och sekundärväg. För signalreglerade korsningar bestäms fördröjningen av styrstrategier och andelen gröntid.

Utgångspunkten vid uppskattning av restiden på enskilda länkar är i EVA-modellen en uppsättning *timflödessamband* (VQ-samband). De anger hur reshastigheten beror av aktuellt trafikflöde. Samband finns givna för ett åttiotal länktyper – se (Carlsson 1992). Sambanden är genomgående definierade av ett mindre antal brytpunkter, sammanbundna med räta linjer. Med olika kurvor (avseende samma länktyp) anges förväntad medelhastighet för fordonsslagen personbil, lastbil/buss och lastbil med släp. Ett exempel ges i figuren nedan, där hastighetssambandet avser 110 km/h motorväg med fyra körfält.

²³ Med utformning menas här vilken typ av korsning det gäller, till exempel väjningsplikt eller cirkulationsplats, och även den geometriska detaljutformningen.



Figur 5 Exempel på timflödessamband. X-axeln anger trafikflöde i en riktning (fordon/h) och y-axeln reshastighet. De tre kurvorna svarar mot olika fordonsslag (personbil, lastbil/buss och lastbil med släp). De grundläggande sambanden är definierade för flöden upp till kapacitetspunkten Q_k . För högre flöden ske extrapolation enligt en viss metod. Diagrammet avser motorväg 110 km/h med 4 körfält. Källa: VV Effektkatalog (Vägverket 2001).

Av de 80 länksamband som finns i EVA-modellen avser 55 landsbygdsvägar och 25 vägar och gator i tätort. Landsbygdsvägarna är kategoriserade enligt följande:

- Vägtyp (motorväg, motortrafikled, övrig landsväg – uppdelning efter antal körfält)
- Skyltad hastighet (70, 90 och 110 km/h)
- Vägbredd
- Siktclass (inledning efter andel väglängd med sikt över 300 meter). Används här som ett mått på horisontell och vertikal linjeföring.

Tätortssambanden (25 stycken) är kategoriserade på liknande sätt:

- Vägomgivning (ytterområde, mellanområde och centrum)
- Vägtyp (infart/förbifart, tangent, citygata)
- Skyltad hastighet (50, 70 km/h)
- Antal körfält

Sambanden har tagits fram genom trafikmätningar och genom simulering. Förutsättningen har då varit en antagen andel tung trafik (α) och ett antagande om lastbilar med släps andel av all tung trafik (β). För landsbygd antas $\alpha=12\%$ och $\beta=60\%$ och för tätort $\alpha=9\%$ och $\beta=40\%$.

För fyr- och sexfältsvägar avses flödet i en riktning men för övriga vägar avses det sammanlagda flödet i båda riktningarna. I det senare fallet är medelhastigheten inte bara beroende av flödet utan också av riktningfördelningen (andelen trafik i respektive riktning).

Genom timflödessambanden kan förväntad reshastighet på olika länktyper läsas av som funktion av trafikflödet (fordon per timme). En viktig tillämpning är att utifrån en given årsdygnstrafik²⁴ (ÅDT) och antaganden om trafikvariation (under år och dygn) bestämma genomsnittlig reshastighet räknat över hela året. Reshastigheten vid olika tidpunkter vägs då samman efter trafikmängden vid respektive tidpunkt. Denna teknik används vid bestämning av V/D-funktioner; se nedan.

För beräkning av restid eller fördröjning genom korsningar baseras EVA-modellen på CAPCAL ((Vägverket 1995) m fl). Inom ramen för TPMA-projektet²⁵ har modeller också utvecklats för analys av bland annat vävningssträckor och ramper på motorväg (Carlsson and Cedersund 2000).

Det som hittills har sagts avser i första hand om analys av enskilda objekt, länkar eller korsningar. Uppskattning av mängden trafik på länkar i nätverk och resulterande restider kräver dock flera beräkningssteg på ett tidigare stadium; uppskattning av OD-matriser och nätutläggning.

Baserat på en områdesindelning och nätverksbeskrivning uppskattas OD-matriser ofta genom den fyrstegsansats som bland annat Sampers-modellen bygger på. Antalet resor mellan två områden bestäms där av ett flertal variabler för respektive område (befolkning, inkomstnivå, tillgång till bil etc.) och även av restiden mellan områdena.

OD-matrisen ger i sig ingen entydig information om trafikflöden på länknivå. Exakt hur trafiken fördelas i nätet beror på trafikanternas vägval. För modellberäkningar är *Wardrop's princip* ett vanligt antagande. Varje trafikant antas då ha fullständig information om aktuella restider i nätverket och rationellt välja snabbaste väg. Det betyder att trafiken motsvarande den givna OD-matrisen läggs ut på ett sådant sätt att ingen trafikant skulle tjäna på annat vägval. Även andra kriterier för optimala lösningen tillämpas, till exempel minimering av den totala restiden i nätverket (systemoptimum).

Grundläggande är reshastighetens beroende av trafikflödet. Utan detta beroende så skulle nätutläggning kunna ske direkt efter beräkning av alla-till-alla billigaste vägar. Med flödesberoende restider blir beräkningen med nödvändighet istället iterativ. Preliminära länkvisa trafikflöden och restider från ett beräkningssteg ligger till grund restidsuppskattningen i nästa.

Iterationer uppstår även vid skattningen av OD-matriser. Detta eftersom antalet resor mellan två punkter beror av restiden, som i sin tur bestäms av trafikmängden. Antalet iterationer, vid såväl nätutläggning som vid OD-skattningen, beror bland annat av trafikmängden.

Vid uppskattning av restider och trafikflöden på länkar i nätverk är tillförlitlig OD-uppskattning och korrekta samband mellan trafikmängd och reshastighet alltså av avgörande betydelse. OD-skattning sker normalt genom en kombination av trafikmätningar och modeller baserade på resvaneundersökningar. Hela frågan om OD-estimering är omfattande och ligger utanför rapportens omfattning. I den fortsatta diskussionen, inklusive kommande avsnitts kommentarer om brister i nuvarande modeller, antas tillförlitliga OD-matriser vara givna.

Tillämpningar på landsbygd och i tätort ställer olika krav på hastighet-flödessambanden (V/D-funktioner). På landsbygd är faktorer som väder, sikt och

²⁴ Genomsnittlig dygnstrafik (fordon per dygn) räknat över hela året.

²⁵ *Traffic performance on major arterials* – Projekt finansierat av Vägverket och genomfört av VTI och KTH (CTR).

storlek på mötande trafik av betydelse för framkomligheten och hastighetens flödesberoende. I tätort är det istället faktorer som förekomst av gatuparkering, övergångsställen och busshållplatser som påverkar hastighet-flödessambandet. Vidare är det vid tillämpningar på landsbygd ofta mest relevant att tala om årsmedel-dygnslöden (ÅDT) medan timflöden ofta krävs i tätorter. Krav på V/D-funktioner i allmänhet och särskilt för tätorter diskuteras i en PM från Transek (Schmidt 1998), där man utöver ovanstående skillnader också pekar på allmänna krav, särskilt ur användarnas synvinkel, som bör ställas på V/D-funktionerna. Dit hör till exempel att klassificeringen bör vara relativt entydig. Det ska med andra ord vara lätt att säga hur en given gata ska klassificeras.

V/D-funktioner kan avse reshastigheten på en länk eller även inkludera fördröjning i samband med korsningar. Vid nätverksanalys används idag främst följande två uppsättningar av funktioner:

- **VTI**

ÅDT-funktioner härledda från EVA-modellens timflödessamband under antaganden om $\alpha=12\%$ tung trafik. Funktioner finns framtagna för ett åttiotal olika vägtyper, motsvarande de som EVA-modellens timflödessamband avser. Dataunderlaget är från början av nittioalet. Modellen beskriver medelhastigheten $v(Q)$ som funktion av ÅDT-värdet Q enligt

$$v(Q) = \min\left(v_0, c_0 + \frac{c_1 + c_2 \cdot e^{c_3 \cdot Q}}{1 + c_4 \cdot e^{c_3 \cdot Q}}\right)$$

där v_0 är friflödes hastigheten och c_0 - c_4 är givna koefficienter.

Funktionerna är framtagna med utgångspunkt från trafikens variation över dygn (timmar) och år (månader). För var och en av 288 typtimmar (jan-00,...,jan-23,...,dec-00,...,dec-23) tas på sätt förväntat flöde fram varefter avläsning av motsvarande reshastighet görs i timflödessambanden. Sammanvägning ger sedan en medelreshastighet för hela året, viktat efter trafikmängd för de olika typtimmarna. (Matstoms, Jönsson et al. 1996).

- **TU71**

Timfunktioner baserade på empiriska data från trafikundersökning 1971 i Stockholm. Funktioner för fyra olika hastighetsnivåer (50, 70, 90 och 110 km/h) och olika störningsgrader (gatuparkering, gående etc); sammanlagt sju olika funktioner:

- Mycket störd 50-väg
- Störd 50-väg
- Ej störd 50-väg
- Störd 70-väg
- Ej störd 70-väg
- 90-väg
- 110-väg

Med störning menas faktorer som på något sätt ökar trafikströmmens friktion eller drar ned hastigheten, till exempel övergångsställen, hinder eller påfarter. Vad som är en mycket störd eller störd gata är naturligt-

vis inte givet. Det måste istället bestämmas efter en subjektiv bedömning. I motsats till VTI-funktionerna inkluderar TU71-funktionerna en schablon för fördröjning i samband med korsningar. Restiden på en länk av längden L anges enligt TU71 av

$$t(q, L) = \begin{cases} \left(\frac{q}{c_1} + c_2 \cdot \left(1 + \left(\frac{q}{c_3} \right)^{c_4} \right) \right) \cdot L + c_0 & q \leq q_{\max} \\ c_5 \cdot L + c_6 \cdot (q - q_{\text{break}}) & q > q_{\max} \end{cases}$$

där q är flöde (fordon/h) per körfält, c_1 - c_6 är funktionskoefficienter och q_{\max} är kapacitetsgränsen. Se vidare (Jonsson 1995).

I samband med att ovan nämnda VTI-funktioner på dygnsnivå togs fram bestämdes också en uppsättning funktioner på timnivå, motsvarande TU71-funktionerna ovan. Dessa har dock inte i någon större omfattning använts för verkliga tillämpningar.

- **EVA**

Timfunktioner härledda från timflödessambanden enligt EVA. Anpassning av de styckvis linjära timsambanden till den icke-linjära funktionsform som ÅDT-funktionerna baseras på (se ovan). Schablontillägg för fördröjning i signalreglerade korsningar enligt Dohertys formel²⁶ har tagits med vid skattning av funktionerna. Se (Matstoms 1998).

Utöver dessa finns andra uppsättningar funktioner som används i olika regionala modeller.

För nätutläggning används i Sverige främst Emme/2. Det gäller särskilt vid samhällsekonomisk kalkyl och vid tillämpningar av Sampers. Inför utvecklingen av Sampers inventerades och jämfördes tillgängliga modeller, varvid Emme/2 rekommenderades i konkurrens med främst Visum, Vips och Trips. Se vidare (Samplan 1999). Ett argument för valet av Emme/2 var möjligheten att kunna använda tidigare kodning av trafiknät och även krav på hanteringen av kollektivtrafik. Internationellt används även andra system, till exempel TransCad, Trips och Visum.

Vid höga trafikflöden i tätorter krävs ofta dynamiska modeller för att korrekt återge effekter av köbildning, till exempel spridning uppströms och påverkan på omgivande länkar. Vägverket har under senare år börjat använda Contram för denna typ av analyser. Inom ramen för Dirigent-projektet har mycket arbete lagts ned på att utveckla användningen av Contram. För detaljerad analys av enskilda objekt eller begränsade områden har mikrosimulering under senare år också

²⁶ Dohertys formel, som är en modifiering av Websters formel, uttrycker den genomsnittliga fördröjningen i en signalreglerad korsning som en funktion av aktuellt flöde, kapacitet och grön-tidsandel.

kommit att bli ett alltmer intressant alternativ till traditionella metoder. Flera modeller finns på marknaden, till exempel Aimsun2 och Vissim.

För modellering av godstransporter används för närvarande Samgods, som består av ett antal separata delmodeller. Vidarutveckling av de nationella godsmodellerna pågår.

Under slutet av nittiotalet genomförde VTI en omfattande studie av näringslivets transporter i Stockholms län (Nätra). Av betydelse är det empiriska material som då togs fram; avseende efterfrågan och ruttmönster. Tillsammans med modeller kan regionala OD-matriser för näringslivets transporter uppskattas. Vidareutveckling av Nätra-modellen diskuteras.

Kommentar

Vid genomgång av brister i nuvarande effektmodeller skiljer vi på beräkningar för enskilda objekt (vägar eller korsningar) och beräkningar för nätverk. På objektnivå handlar frågan främst om relevans i dataunderlag och därpå framtagna modeller, medan nätverksanalys även innebär andra frågeställningar.

Inom ramen för EMV-projektet²⁷ (Bång, Carlsson et al. 2001) har en omfattande litteraturstudie genomförts om modeller för framkomlighet på landsbygd. Där konstateras att kunskapsläget i stort är tillfredsställande men att kunskapsluckor finns inom ett mindre antal områden, till exempel:

- Kapacitet och hastighet-flödessamband för flerfältsvägar och motorvägar i backig terräng.
- Vägar med mitträcke, 2+1-väg, 1+1-väg och 2+2-väg.
- Konventionella tvåfältsvägar. Effekter vid hög belastning, olika riktning fördelningar och effekter av backig terräng.

Kunskapen om tvåfältsvägar med låga eller medelhöga flöden är god efter de omfattande hastighetsmätningar som Vägverket genomfört. En reservation är att åren efter 1996 inte ingår i kartläggningen. Förändringar under den perioden, i fråga om hastighetsval och beteende vid högre trafikflöden, har därmed inte fångats upp. Obearbetat datamaterial finns dock tillgängligt även för den senare tidsperioden.

Ett särskilt problem är att vid investeringsplanering saknas ofta en noggrann beskrivning av vägutformningen, med undantag av tvärsektion. Det saknas idag bra system, grundade på linjeföringsmått, för att beskriva horisontell och vertikal linjeföring för vägar på landsbygd. EVA-modellen innehåller en klassning av vägnätet på landsbygd baserat på siktlängder. Linjeföringsmättet är där andel väglängd med sikt över 300 meter. Olika intervall för detta mått definierar siktklasser 1-4 (se not 11, sidan 18). Bestämning av siktlängd är dock tidskrävande och beror dessutom av förändlig vägomgivning. Genom ett linjeföringsmått enbart baserat på vägens utformning skulle beräkning kunna ske direkt från uppgifter i vägdatabanken, och vid projektering direkt från detaljrutningar. Arbeta med alternativa mått på linjeföring pågår inom ramen för EMV-projektet.

Efter framtagning av nya linjeföringsmått kommer man inom EMV att se över befintliga modeller för tvåfältsvägar. Det gäller hur frifordonshastigheten beror av linjeföringsklass, V/D-samband för olika linjeföringsklasser och kapacitet som funktion av riktning fördelning.

²⁷ *Effektmodeller för väganläggningar*, Vägverksprojekt 2001-xxxx som genomförs i samarbete mellan VTI, KTH och LTH.

För motorvägar, där i första hand vertikal linjeföring är av intresse, kommer EMV-arbetet också att innebära modellutveckling i fråga om frifordons hastighet, V/D-samband och kapacitet vid olika linjeföringsklasser. Motorvägar är annars väl behandlade inom TPMA-projektet.

Vid tillämpningar på landsbygd används idag främst VTI:s dygnsfunktioner, ovan kallade VTI. För flertalet vägtyper, särskilt för låga eller medelhöga trafikflöden, är underliggande timflödessamband relativt säkra, även om det empiriska materialet är några år gammalt.

Funktioner har bestämts från index över trafikvariationen över året (månader) och dygnet (timmar). För personbil finns sådana variationsindex (rangkurvor) för flera olika vägtyper, till exempel *turisttrafik*, *genomfart* och *citygata*. För lastbilar skiljer man endast på stad och landsbygd. Ett möjligt problem är att rangkurvorna baseras på relativt gamla mätningar och att de ger för låg tidsupplösning. Komplettering av nuvarande tim- och månadsindex med veckodag samt dag och timme vid storhelger skulle öka noggrannheten. Genom tillägget med storhelgsindex (jul, påsk, pingst etc.) skulle också timmar med de högsta flödena komma med i beräkningen.

Andelen tung trafik har under senare år ökat kraftigt, vilket inte återspeglas i dygnsfunktionerna. De har tagits fram under antagande om 12% tung trafik. Ökad andel tung trafik leder generellt till lägre medelhastigheter för personbil och vidare till kraftigare hastighetsreduktion under ökande trafikflöde.

Metodmässigt lämpar sig den typ av statistiska modeller som Emme/2 representerar väl för landsbygden med ofta bara måttliga trafikflöden och mindre problem med köbildning.

Vid tillämpningar i storstäder är förutsättningarna delvis annorlunda, vilket ställer andra krav på såväl modeller som underliggande makrosamband. För nätutläggning innebär det att statistiska modeller, av Emme/2-typ, i vissa fall kan vara otillräckliga. Det gäller i första hand vid flöden nära kapacitetsgränsen, då det finns risk för köbildning. I sådana fall förmår ofta inte dessa modeller att korrekt fördela fördröjningen över berörda länkar. Hela fördröjningen läggs istället på den eller de länkar där den ursprungliga fördröjningen uppstår.

Allmänt sett beror fördröjning vid höga trafikflöden på såväl begränsad länkapacitet som fördröjningar i samband med korsningar. I tätorter svarar fördröjning i korsningar ofta för en stor del av den flödesberoende hastighetsminskningen. Tillförlitlig hantering av höga flöden kräver därför såväl relevanta länkfunktioner som att samband med korsningar eller ramper kan beskrivas tillfredsställande.

I tätortstillämpningar (Stockholm) används främst TU71-funktionerna för att beskriva den sammanlagda fördröjningen på länkar och i korsningar. Det empiriska underlaget är från 1971 och därför kan funktionernas relevans idag ifrågasättas. Trafikrytmen, körsättet och mängden trafik har förändrats kraftigt under de trettio år som gått sedan datamaterialet togs fram. Flöden nära kapacitetsgränsen har också blivit vanligare, med köbildning och *stop-and-go*-körning som följd. Faktorer såsom lägre grad av gatuparkering och färre korsningar där högerregel används kan också ha påverkat framkomligheten jämfört med för trettio år sedan.

En annan möjligt nackdel med TU71-funktionerna är att de kan upplevas som för få. Flera funktioner skulle öka upplösningen och göra klassificeringen enklare. I uppsättningen finns det till exempel endast två funktioner för 70-vägar, vilket måste ses som lite med tanke hur olika vägar med samma hastighetsgräns kan vara och hur många vägtyper de två 70-funktionerna ska representera. Vid jämfö-

relse med antalet VTI-funktioner måste det dock påpekas att TU71-funktionerna har antal körfält som en variabel, medan VTI-uppsättningen anger olika funktioner för olika antal körfält.

En nackdel med TU71-funktionerna är också att det saknas koppling till den i EVA-modellen etablerade klassificeringen. Jämförelse med VTI:s dygnsfunktioner kan därmed inte göras med mindre än ny klassificering enligt den andra klassificeringen. Överhuvudtaget kan TU71-klassificeringen uppfattas som subjektiv. Det är inte givet vad som är en störd eller mycket störd väg.

Den schablonmässiga hanteringen av korsningsfördröjning har den stora fördelen att nätverket inte kräver kodning av korsningar. Kodning av länkar är tillräckligt. Detta är dock till priset av noggrannhet i restidsuppskattningen. I många fall vid högre flöden utgör korsningsfördröjningen en mycket viktig komponent i den totala restiden och under- eller överskattning leder till osäkerhet i resultatet.

3.2 Järnväg

3.2.1 Inledning

Samhällsekonomisk analys och uppskattning av järnvägens effekter baseras till stor del på Banverkets *Beräkningshandledning* (Banverket 2001). Jämfört med Vägverkets *Effektsamband 2000* (Vägverket 2001) innehåller Beräkningshandledningen en hel del material om samhällsekonomisk kalkyl, både i allmänhet och specifikt för tillämpningar inom järnvägsområdet, men relativt lite om bakomliggande effektsamband och modeller. Motsvarigheten till Vägverkets EVA-modell heter BANSEK.

Tabell 6 Sammanställning av effektsamband för järnväg. Tabellen ger en kortfattad bedömning av effekters relevans och underlag i form av modeller, samt vilka faktorer som i första hand påverkar respektive effekt.

	Säkerhet	Emissioner	Buller	Trängsel
Relevans	Medel	Medel	Medel	Medel
Modeller	BANSEK, BV:s Beräkningshandledning (Banverket 2001)	BANSEK, BV:s Beräkningshandledning (Banverket 2001)	(Naturvårdsverket and Banverket 2000)	SIMON, STAN, Förslag till metoder för värdering, dock ej via traditionella effektsamband. (Nilsson 2000)
Faktorer	- Korsningsstandard - Trafikmängd - Hastighet	- Motoregenskaper - Bränsle - Förluster vid eldistribution	- Typ av tåg - Hastighet - Hjul och räl	-

Tabell 7 Effektsamband för CBA inom järnvägstrafik. Tabellen anger de mest betydelsefulla effekterna av viktigare åtgärder och investeringar.

Åtgärd	Säkerhet	Miljö	Buller	Trängsel
Nya tågtyper		•	•	
Flera parallella spår	•			•
Ökad standard vid plankorsningar	•			
Bullerskydd			•	
Elförluster		•		

3.2.2 Säkerhet

Effektsamband

Det senaste decenniet har inneburit en betydande minskning av antalet dödade och svårt skadade i olyckor kopplade till järnväg; från 79 personer 1990 till 38 personer 1998²⁸. Minskningen består till största delen av minskat antal svårt skadade. Antal döda varierar från år till år men någon avtagande trend går inte att läsa ut från statistiken (SIKA 2000).

Själv mord eller försök till självmord står för den absolut största delen dödade eller svårt skadade (Banverket 1999) i samband med järnväg. Denna grupp ingår dock normalt inte i statistiken över olyckor och olycksutfall. Det totala antalet dödade år 1999, inklusive självmord, uppgick till 73 personer, varav 58 fall kan hänföras till självmord²⁹. Motsvarande bild gäller även för 1998. Med självmord borträknade återstår en relativt konstant nivå på omkring 20-30 dödade och ett avtagande antal svårt skadade (16 personer år 1999).

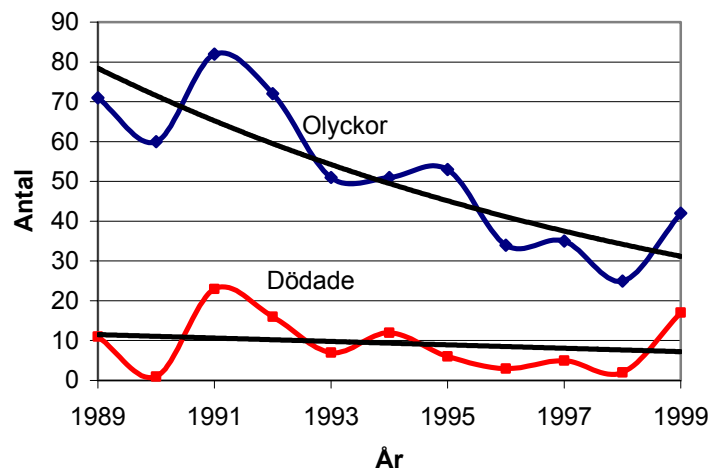
Att man vid uppskattning av effekter inom säkerhet och vid t ex resonemang om marginalkostnadsprissättning inte räknar in gruppen av självmord bland omkomna genom olyckshändelser kan förefalla rimligt och korrekt. Däremot finns en typ olyckor som beror av uppenbar oförsiktighet bland dem som drabbas, t ex olyckor som inträffar då obehöriga vistas på järnvägsspåret eller andra otillåtna områden, eller då personer klättrar upp på vagnar och kommer i kontakt med högspänning. Det är inte lika klart huruvida denna typ av dödsfall bör räknas in i statistiken eller hur de ska ingå i externa kostnader och särskilt vid beräkning av marginalkostnader. I juridisk mening har Banverket ett ansvar för denna typ av olyckor, även om man i allmänna termer kan mena att personer som ”frivilligt” utsätter sig för denna typ risk naturligtvis också bär ett personligt ansvar. Vid marginalkostnadsberäkning är frågan hur denna typ av olyckor beror av trafikmängden, och särskilt vad som händer vid marginell ökning av trafiken. Här menar Banverket att marginalkostnaden bör sättas till noll, vilket måste ifrågasättas. Se vidare (Johansson 2000).

²⁸ Olycksstatistiken avser ofta all form av spårtrafik och inkluderar, vid sidan av järnväg, även spårvagn och tunnelbana. I den följande diskussionen avses däremot enbart järnvägsolyckor.

²⁹ Klassificeringen av självmord baseras normalt på polisrapporter men kan ändå innebära viss osäkerhet.

Bland annat genom införandet av ATC-systemet har tågolyckor, i form av kollisioner eller urspårningar, blivit ovanliga. Under perioden 1997-1999 har ingen skadats på detta sätt. På samma sätt som i fallet med sjöfart och flyg är risken för olyckor alltså mycket liten men konsekvenserna desto större när olyckor inträffar. Under perioden 1997-1999 har passagerare främst förolyckats genom olyckor i samband med på- och avstigning (1-2 personer per år). Bland järnvägspersonal, som statistiskt sett utsätts för betydligt större risker, har 1-2 per år dödats 1998 och 1999. År 1997 var dock antalet betydligt större (11 dödade). Vanliga olyckstyper är påkörningar vid arbeten eller el-olycksfall.

För den stora gruppen av övriga personer, varken resenärer eller järnvägspersonal, är olyckor vid plankorsningar absolut vanligast. Några elolyckor inträffar årligen men sett i antal dödade eller svårt skadade är planolyckorna ett större problem. Genom att det under flera år har varit ett prioriterat område och att standarden vid flera korsningar har förbättrats så har både antalet olyckor och antalet skadade minskat kraftigt under nittioalet, vilket framgår av figuren nedan..



Figur 6 Årligt antal planolyckor och motsvarande antal döda under perioden 1989-1999. För respektive kurva har motsvarande logaritmiska trendlinje lagts in.

För cost-benefit-kalkyl och uppskattning av effekten av plankorsningar har modeller utvecklats inom Banverket. Enligt Beräkningshandledningen (Banverket 2001) uppskattas olycks- och skaderisken enligt följande samband:

$$R = \frac{Q_t \cdot Q_v}{TFP_{medel}} \cdot f(St_h) \cdot O_{omf}$$

där R är relativa risken, uttryckt i förväntat antal olyckor per år, Q_t och Q_v är tåg respektive vägtrafikflödet (uttryckt i årsdygnstrafik), TFP_{medel} är den genomsnittliga produkten av Q_t och Q_v , $f(St_h)$ en korrigeringsfaktor beroende av tågastighet och skyddstyp, och slutligen O_{omf} är medelvärde av olycksfrekvensen för den aktuella skyddstypen.

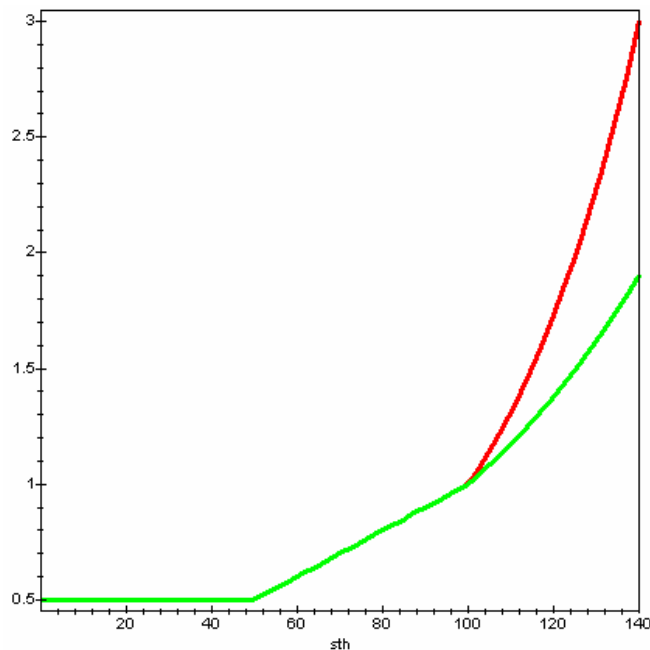
Med de värden på TFP_{medel} och O_{omf} som anges i Beräkningshandboken kan olika typer av skydd jämföras genom beräkning av kvoten O_{omf} / TFP_{medel} . Detta

värde anger säkerheten för olika skydd i förhållande till varandra då allt annat antas lika. Se tabellen nedan.

Tabell 8 "Riskindex" för olika skyddstyper. Alla övriga förutsättningar (trafikmängd, hastigheter etc) antas lika.

Skyddstyp	Risk
Helbom med detektor	1
Helbom	4,0
Halvbom	6,9
Ljud/ljussignal	119
Kryssmärke / övrigt enkelt skydd	293

Skade- och olycksriskens beroende av tågets hastighet kommer i modellen in genom faktorn $f(S_{th})$. Dess värde beror av korsningstyp (skyddad eller oskyddad) och av tågets hastighet. För riktigt låga hastigheter antas risken vara konstant medan den för högre hastigheter ökar linjärt eller exponentiellt. Se figuren nedan. För oskyddade korsningar antas olycksrisken, på grund av nedsatt sikt vid t ex nederbörd och dimma, öka snabbt vid höga hastigheter. Allmänt gäller också att skaderisken för tågpassagerare ökar snabbt med ökande, höga hastigheter.



Figur 7 Olycksriskens beroende av tågets hastighet i plankorsningar. Kurvorna anger storleken på faktorn f i Banverkets riskmodell. Värdet för olika hastigheter ska enbart tolkas som relativ skillnad i risk. Den nedre (gröna) kurvan avser oskyddad korsning och den övre (röda) kurvan svarar mot skyddad korsning.

Modellering av risker vid plankorsningar är möjlig eftersom det statistiska underlaget trots allt är rimligt stort. För andra typer av olyckor, och särskilt tågolyckor i tidigare bemärkelse (urspärning, kollision etc.), är underlaget så litet att det är svårt att i kvantitativa termer uttrycka risken och framför allt dess beroende av t ex trafikmängden.

3.2.3 Emissioner

Effektsamband

Tågtrafik bedrivs med diesel- och eldrivna tåg. Det totala trafikarbetet i Sverige uppgår till drygt 110 miljoner tågkilometer per år, varav persontrafiken svarar för cirka 65 procent. Av det totala trafikarbetet står eldrivna tåg för knappt 90 procent. Andelen är något högre för persontrafiken än för godstrafiken. Dieseldriven persontrafik sker i första hand med motorvagnar av två olika typer (Y1 och Y2) medan dieseldriven godstrafik främst sker med T44-lok (Ivarsson 2000).

Vid emissionsuppskattningar är fördelningen mellan el- och dieseldrivna tåg viktig eftersom driftsätten innebär så fundamentalt olika sätt att räkna emissionsmängder. För dieseldrivna tåg gäller samma typ av resonemang som inom övriga trafikslag, med uppskattning av emissionsfaktorer etc. För eldrivna tåg är det istället en fråga om hur el produceras och vilka emissioner det ger upphov till.

Det finns sammanlagt ett par hundra dieseldrivna lok och ett hundratal motorvagnar i linjetrafik. Därtill ska läggas drygt tvåhundra diesellok som används för växlings- och rangerarbeten. Lok av denna typ är ofta relativt gamla även om motorerna i många fall är utbytta mot nyare motorer med bättre miljöegenskaper.

Emissionsmätningar på järnvägsfordon är både kostsamt och komplicerat. Kunskapen om olika loks egenskaper är därmed relativt liten och i huvudsak begränsad till mätningar som genomförts på T44-lok. Olika lok av denna typ visar på relativt överensstämmande nivåer, varför de anses vara representativa för allmänna godslok med dieseldrift. En allmän slutsats är att T44-loken generellt ger relativt stora emissioner.

För de mindre storleksklasserna av diesellok har utvecklingen under åttiotalet varit mycket positiv och inneburit stora förbättringar i fråga om kväveoxider och kolväten. En viktig förbättring är införandet av turbo med laddluftkyllning, vilket har en mycket gynnsam effekt på utsläppen av kväveoxider (Ivarsson 2000). För diesellok med större motorer (lok av t ex T44-typ) har utvecklingen inte varit lika positiv. En anledning enligt är, enligt Ivarsson, att emissionskrav här inte har funnits lika länge som inom vägsektorn. För järnvägsfordon saknas fortfarande fastställda emissionskrav.

På samma sätt som inom vägtrafiken uppskattas dieseltrafikens emissioner genom beräkningar med antagna körcykler och emissionsfaktorer från tillverkare eller från oberoende mätningar. Av den sammanlagda trafiken står växlingsarbete för en inte oväsentlig del av bränsleförbrukningen och den totala mängden emissioner. Det sätt som växlingslok används på, med bland annat stora vridmoment och ojämn belastning, ger också helt andra körcykler än för linjetrafiken.

Genom förbättrad bränslekvalitet kan stora emissionsvinster uppnås. Övergång från sämre dieselkvaliteter till Miljöklass 1 diesel innebär en minskning av partiklar och CO med 20 procent, svaveloxid med 99 procent och kväveoxider med 5-10 procent (NTM 2001).

Som tidigare påpekats står eldrivna tåg för den största delen av trafik- och transportarbetet med tåg. Järnvägens totala elförbrukning uppgick år 2001 till cirka 2200 GWh, varav den direkta driften av eltåg stod för cirka 1550 GWh. Till det senare värdet ska läggas överföringsförluster på knapp 400 GWh, motsvarande 25 procent av förbrukningen (Banverket 2002).

Den principiellt viktiga frågan är vilken miljöbelastning och vilka emissioner, främst koldioxid³⁰, som denna elförbrukning ska tillskrivas. Klart är att relevant jämförelse med andra transportslag, främst vägtrafik och sjöfart, kräver att elproduktionen inte får anses vara fri från emissioner. Vid sådana jämförelser kan det vara naturligt att tillskriva den el som tågen använder emissioner motsvarande genomsnittlig elproduktion i Sverige. Det betyder att den förbrukade elen bör antas komma från den mix av produktionskällor som gäller för nationella elförsörjningen i stort. Uttryckt i miljöbelastning och emissioner bör därmed tågen tillskrivas en totalmängd motsvarande denna fördelning över produktions sätt. Med detta sätt att räkna blir mängden koldioxidutsläpp relativt måttlig eftersom vatten- och kärnkraft står för en betydande andel av svensk elförsörjning.

I Banverkets Beräkningshandledning (Banverket 2001) framhåller man denna grundsyn, men konstaterar samtidigt att om detta görs så måste samtidigt utsläpp i samband med annan drivmedelsproduktion (framställning av bensin och diesel) beräknas. Slutsatsen blir därför att ”luftföroreningar och koldioxid enbart beräknas för den dieseldrivna tågtrafiken”.

Vid beräkning av marginalkostnader och effekter av marginellt tillkommande trafik är det inte lika klart vilken form av elproduktion som ska ansättas. Per Kågeson för, i en underlagsrapport till SIKAs marginalkostnadsstudie 2001, ett resonemang där å ena sidan den marginella elen, ”på toppen”, i det nordiska och nord-europeiska kraftproduktionssystemet mestadels kommer från kolkondensverk, även om Sverige i ett sådant läge också exporterar koldioxidfri el från vattenkraft eller kärnkraftverk och även netto exporterar el. Å andra sidan är det ofta som kärnkraftverken inte går på full effekt, varför elproduktion på marginalen skulle kunna hänföras till koldioxidfri kärnkraftsel. Samtidigt kan man säga att den överkapacitet som Sverige inte exporterar leder till ökad efterfrågan på el från nordiska kolkraftverk.

Vilken typ av elproduktion som den marginella förbrukningen hänförs till har stor inverkan på utsläppen av koldioxid. I fallet med kolkondens blir det ca 0,9 kg per kWh. Det ska jämföras med modernare gaskombikondens, baserat på naturgas, som endast ger 0,4 kg per kWh.

Förluster vid i eldistributionen står för en betydande del (20-25 %) av den totala elförbrukningen. Genom tekniska förbättringar finns därmed en viktig potential till effektiviseringar.

Vad som hittills har sagts gäller emissionsnivåns beroende av driftsform, el eller diesel, samt betydelsen av tekniska förbättringar av motorer. Utöver detta beror energiförbrukningen och emissionsmängden också av faktorer såsom körsätt och hastighetsval. Genom planering och optimering på ett övergripande plan kan det vara möjligt att minska stoppfrekvensen och tillåta en jämnare, eventuellt lägre, hastighet.

Oberoende av driftsform finns det också allmänna tekniska lösningar som syftar till lägre energiförbrukning, till exempel återmatning av bromsenergi, minskning av luftmotstånd och nytt materialval i vagnar för lägre egenvikter.

³⁰ Genom rening och andra åtgärder kan utsläppen av partiklar, kolväten, svavel och andra luftföroreningar från elproduktionen anses vara relativt begränsade. Därmed återstår endast utsläpp av koldioxid.

Kommentar

Med tanke på att eltågen svarar för nästan 90 procent av trafikarbetet med tåg så måste det anses vara en stor brist att denna trafik i den samhällsekonomiska kalkylen inte hänför några avgasemissioner. Diskussionen ovan pekar på att det naturligtvis är möjligt att koppla elproduktionen till motsvarande emissioner, även om principen (genomsnittlig kontra marginell produktion) kan diskuteras.

3.2.4 Buller

Det är idag närmast en självklarhet att man med järnväg ska kunna resa in till centrum av storstäder och andra tätorter. Närheten till järnvägen spelar en viktig roll för både person- och godstransporter. Genom att det i de flesta fall då handlar om eldrivna tåg så har detta heller inga konsekvenser i fråga om luftföroreningar. Tåget är i den meningen ”rent” och bidrar inte till sämre lokal luftkvalitet. Vad som däremot är ett problem är buller och vibrationer från järnvägen. Av dem som är utsatta för trafikbuller i Sverige så uppger 76 % att de är mest störda av vägtrafiken och 19 % att störningen är värst från järnvägen (Lagerkranser 2000). Jämfört med buller från vägtrafiken är därmed buller från järnväg ett mindre problem. Inte mindre än omkring 10000 bostäder, och 25000-30000 boende, är dock idag utsatta för bullernivåer från järnväg som ligger över de av riksdagen fastställda målen (SIKA 2002). Enligt gällande etappmålet, som ska uppnås senast år 2007, får buller från järnväg högst uppgå till 55 dBA maximalnivå³¹ inomhus nattetid. För statliga järnvägar ska detta vara uppfyllt till år 2003. Om målsättningen uppnås så innebär det i princip en ”nollösning” och att ingen ska vara störd av spårtrafik på statliga anläggningar.

Bullerproblemet är till stor del geografiskt koncentrerat. För det första så sker 30 procent av det totala trafikarbetet på omkring 6 procent av järnvägsnätet och för det andra är detta ofta kring storstäderna med hög befolkningskoncentration (Banverket and SIKA 2002).

Effektsamband

I likhet med luftföroreningar som enbart har lokala hälsoeffekter så är buller ett problem endast då det utgör en störning för personer som bor eller vistas nära källan. Det gör att effektstudier baserade på bulleremissioner inte är meningsfulla utan att man samtidigt studerar hur många människor som påverkas. Beräkningsmodeller för buller är dock i första hand koncentrerade kring beräkning av buller och dess spridning. Exponering baserat på var bostäder ligger och var människor vistas sker genom separata beräkningar.

Vilket buller som tågtrafik ger upphov till beror på en mängd olika faktorer, till exempel specifika egenskaper för tåget och rälsen, tågets längd och hastighet, och inverkan av eventuell inbromsning. Ljud från hjul, räl och sliper dominerar normalt vid de flesta hastigheter. Hjulens och rälsens kvalitet, särskilt dess ytjämnhet, anses här ha stor inverkan på ljudnivån.

Stora skillnader kan observeras mellan olika typer av tåg. Godståg ligger generellt högre än persontåg. Snabbtåget X2000 ligger högt vid höga hastigheter; då i

³¹ Buller beskrivs antingen som ekvivalentnivåer, motsvarande medelvärden under t ex ett dygn, eller som maximalnivåer. På grund av störningens tillfälliga karaktär är oftast maximalnivån mest relevant inom järnväg.

närheten av godståg men är tystare vid lägre hastigheter. Bäst är olika typer av motorvagnar, som ofta är mycket tysta.

Spridningen till närbelägen punkt beror t ex på avstånd, väder och vind, årstid, topografi, förekomst av t ex jordvallar, andra bullerskydd och byggnader. Se för övrigt tidigare diskussion om buller i samband med vägtrafik (avsnitt 3.1.4).

Baserat på omfattande mätningar och analys av empiriska data har olika modeller för uppskattning av buller och spridning utvecklats. Den nu mest tillförlitliga och aktuella modellen har inom ramen för nordiskt samarbete tagits fram av Banverket och Naturvårdsverket (Naturvårdsverket and Banverket 2000). I korthet beräknar modellen ekvivalentnivå och maxnivå vid en given punkt kring en järnväg. Modellen finns också implementerad som datorprogram för PC (Trivector 2001).

Enligt modellen, där hastigheten kommer in genom dess logaritm, ökar den ekvivalenta ljudnivån med 7 dBA då tågets hastighet fördubblas³². Under samma förutsättningar ökar den maximala ljudnivån med 9 dBA.

Den maximala ljudnivån beror inte av trafikmängden utan endast av den högsta nivån. Den ekvivalenta ljudnivån, som snarare uttrycker den genomsnittliga nivån, är däremot beroende av trafikmängden och tågens längd. Från modellen följer att en fördubbling av trafiken eller tågens längd³³ innebär att den ekvivalenta ljudnivån ökar med drygt 3 dBA.

Med ökande avstånd från järnvägsspåret och tågen avtar naturligtvis bullernivån. Enligt modellen kan man visa att en fördubbling av avståndet innebär att den maximala ljudnivån minskar med 6 dBA medan den ekvivalenta ljudnivån minskar med 3 dBA.

Vilken effekt som kan uppnås genom olika typer av yttre bullerskydd, t ex skärmar och jordvallar, kan analyseras med hjälp av beräkningsmodellen. (Lagerkranser 2000) visar på betydande effekter av bullerskärmar.

I Banverkets beräkningshandledning (Banverket 2001) tas frågan om effektsamband och modellering av buller och bullerstörning inte alls upp. Där diskuteras istället frågan om samhällsekonomisk värdering av bullerstörning. Utan att gå in på detaljer konstateras att utgångspunkten är värdering efter maximalnivån inomhus och antalet tåg som passerar per dygn. I 1999 års prisnivå uttrycks den genomsnittliga värderingen per person som

$$BV = 3,7 \cdot (70 + t)^{1,1} \cdot e^{0,18-0,88 \cdot (N-45)},$$

³² I modellen beräknas en grundläggande referensnivå för kontinuerlig 24-timmars A-vägd ekvivalentnivån enligt $L_{ref0} = 23,5 \cdot \lg\left(\frac{v}{100}\right) + 10 \cdot \lg\left(\frac{l_{24}}{1000}\right) + 61$ där v betecknar tåget hastighet (km/h) och l_{24} totallängden (m) av tåg som passerar under en 24-timmarsperiod. På motsvarande sätt ges ett referensvärde för maximalnivån av $L_{maxref0} = 33,5 \cdot \lg v + 27,8$. Utan att närmare gå in på tolkningen och betydelsen av uttrycken kan vi dock konstatera på vilket sätt som hastighet och trafik/tåglängd kommer in.

³³ I modellen ingår en variabel som anger *totallängden av tåg av en viss typ under en typisk 24-timmarsperiod*.

där t betecknar antal passerande tåg per dygn och N är maximalnivån inomhus (dBA). Enligt modellen ökar värderingen i princip linjärt med antalet passerande tåg och exponentiellt med maximalnivån. Se vidare (Banverket 2001).

Kommentar

Den nordiska beräkningsmodellen har validerats mot uppmätta data. Slutsatsen är att överensstämmelsen är bättre för beräknade för A-vägda nivåer än för enskilda frekvenser. Mätunderlaget vid låga hastigheter är mycket begränsat vilket kan påverka modellens noggrannhet.

Ljudutstrålningen är, som tidigare nämnts, beroende av ytjämnhet hos hjul och rärl. Detta är dock svårt att kvantifiera och blir därmed eventuellt inte korrekt hanterat.

3.2.5 Trängsel

För järnvägstrafik innebär trängsel³⁴ att spårutrymme saknas och att tåg konkurrerar om tåglägen. Ett annat uttryck för trängsel är att tåg kan tilldelas önskade tåglägen endast om önskemål för andra tåg inte tillgodoses. Situationen kan uppstå i olika planeringsskeden: (i) då tidtabellen läggs och tåg ”trängs” med andra möjliga tåg, (ii) då tidtabellen är lagd och tillkommande tåg ska komma in på lediga tider och (iii) operativt när förseningar uppstår och prioriteringar måste göras bland köande tåg. Se vidare (Pyddoke 2000).

En förutsättning för marginalkostnadsprissättning är möjligheten att verkligen uppskatta marginalkostnader. Inom vägtrafik uppskattas restider och fördröjning utifrån modeller i termer av trafikflöde, fordonssammansättning, vägtyp etc. Genom tidsvärden kan sedan den samhällsekonomiska kostnaden uppskattas. Principen är då, liksom för andra effekter och transportslag, att en *marginaleffekt* uppskattas och sedan värderas.

Trängsel eller knapphet inom järnväg hanteras dock på ett annat sätt. Här finns inte den typ av samband med vars hjälp fördröjning kan bestämmas. Värderingsfrågan hanteras istället direkt. Jan-Eric Nilsson har under lång tid utvecklat en teknik som bygger på att ”tidtabellslägen” auktioneras ut och att knappetskostnader därigenom direkt kan uppskattas (Nilsson 2000). Vidare diskussion om detta och andra strategier för ekonomisk värdering av trängsel inom järnvägen ligger utanför rapportens syfte³⁵.

³⁴ Begreppet trängsel kan vara mindre lämpligt inom järnväg. Oftare används *knapphet* (på kapacitet) och motsvarande *knappetskostnad*.

³⁵ Vid samhällsekonomisk kalkyl är det värdet av effekter som i första hand söks. Beräkning av effekters storlek, uttryckt i t ex restidsfördröjning, skadeutfall eller emissioner, är då endast ett delresultat som kräver koppling till motsvarande ekonomiska värdering. Som tidigare påpekats uppskattas ibland värdet direkt, utan att motsvarande effekt först beräknas. Ett sådant exempel är frågan om *intrång*. Med Nilssons auktionsteknik gäller detta även trängsel inom järnväg.

3.3 Sjöfart

3.3.1 Inledning

Sjöfartsverket³⁶ har inte beräkningshandböcker eller kalkylmodeller motsvarande Vägverkets effektkatalog respektive EVA-modellen. Investeringsobjekt utreds istället som unika projekt, med kanske lägre grad av enhetlighet än vad som är fallet inom vägområdet. Omfattningen är också betydligt mindre; vanligtvis endast några enstaka projekt per år. I förekommande fall anlitas konsulter för arbetet med samhällsekonomiska analyser. Det har till exempel skett vid utredning av investering i farlederna till Göteborgs hamn (SWECO 1999), utbyggnad av slussarna i Trollhätte kanal (SWECO 2000) och ny sluss i Södertälje (Arvidsson 2001). Utredningarna av Göteborgs hamn och Trollhätte kanal genomfördes av SWECO/VBB VIAK³⁷ och slussen i Södertälje av SEVENCO.

Sjöfarten saknar överhuvudtaget mycket av den tradition kring samhällsekonomisk analys som finns inom övriga transportslag, främst väg- och järnväg. En anledning kan vara att investeringar i vägar och järnväg är av så mycket större omfattning och med motsvarande större krav på utredning och prioritering. Ett annat skäl är det faktum att väg- och järnvägsinvesteringar oftare kräver statlig finansiering. I fallet med sjöfart genomförs investeringar ofta av berörda kommuner och finansieringen kan ske med användaravgifter, vilket minskar behovet av samhällsekonomiska kalkyler. Det ska dock understrykas att det trots det finns ett stort behov av tillförlitliga effektsamband och samhällsekonomiska kalkyler även för sjöfarten. Det gäller till exempel för mera övergripande jämförelser mellan transportslagen och dess effekter, men också i nu aktuella diskussioner om marginalkostnadsprissättning; se t ex (Sjöfartsverket 2002).

Tidigare hade konsulter tämligen stor frihet att själva utveckla beräkningsmetoder för sjöfart men med tiden har kraven vuxit. Beräkningarna förväntas idag göras på ett likartat sätt, oavsett transportslag. I samband med utredningar kring Dala kanal³⁸ och Trollhätte kanal har metodik för samhällsekonomisk kalkyl särskilt belysts genom deltagande från SIKa i Sjöfartsverkets arbete; se (Nylander 1998) och (SWECO 2000). Intrycket är dock att beräkningsmetodiken fortfarande saknar fast grund.

Sjöfartsverket (Sjöfartsverket 2002) sammanfattar de komponenter som bör ingå i ett marginalkostnadspris för sjöfarten. Förutom kostnader för infrastruktur så är det ett antal externalitetskostnader motsvarande följande effektkategorier:

- trängsel,
- utsläpp till luft,
- utsläpp till vatten,
- olyckor,
- erosion och andra strandskador,
- buller och
- intrång.

³⁶ Inom Sjöfartsverket har frågan om effektsamband och modeller diskuterats med Lars Vieweg och Björn-Åke Zetterberg.

³⁷ Kontakter har tagits med Jan Efraimsson, VBB VIAK (numera på Västtrafik AB).

³⁸ Omfattningen på projektet Dala kanal är så stor att det kräver statlig finansiering. Behovet av samhällsekonomisk kalkyl var därmed det samma som för väg- och järnvägsinvesteringar.

Vid cost-benefit-analys inom sjöfart spelar också omflyttning av godstransporter från andra transportslag, främst väg- och järnväg, en viktig roll. Det ger indirekta effekter i fråga om flera av ovanstående kategorier, till exempel trängsel, miljö och säkerhet. Av sjöfartens direkta effekter är det restider/transportkostnader och utsläpp till luft som i första hand måste beaktas. Dessa effekter har vid sidan av infrastrukturkostnader störst inverkan på den samhälls-ekonomiska kalkylen. Nollvisionen inom säkerhet gäller sedan lång tid tillbaka. Av omkomna inom sjöfarten står olyckor med fritidsbåtar för den absolut dominerande delen; vissa år för samtliga dödsfall. SIKA (SIKA 2002) konstaterar nedåtgående trend och att nivån (fritidsbåtar borträknade) nu är så låg att större minskningar kan vara svårt att uppnå. Talar man däremot om effekter av olyckor i ett större perspektiv och räknar med till exempel bränder, utsläpp i vatten och skador på infrastruktur så blir problemet större. Vissa rapporter talar då om att olycksrisken skulle vara betydligt större än vad som annars har antagits.

Buller uppfattas inte som något generellt problem. Ett möjligt undantag är hamnar med centralt läge. I uppföljningen av de transportpolitiska målen nämner SIKA överhuvudtaget inte sjöfarten i avsnittet om buller (SIKA 2002). Slitage kan möjligtvis gälla mindre problem med erosion. Slutligen kan det konstateras att trängsel inte utgör något problem. Under 2001 noterades bara ett mycket litet antal förseningar på grund av hög trafik. Sjöfarten har, enligt ovan, snarare en positiv indirekt effekt genom minskad trängsel för andra transportslag.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att cost-benefit-analyser inom sjöfartsområdet i huvudsak omfattar investeringskostnader, effekter av omflyttning till eller från väg och järnväg, transportkostnader och transporttider, och miljöeffekter. Vid marginalkostnadsanalys är utsläpp till luft den viktigaste faktorn. Därtill kommer, i betydligt mindre skala, effekter av erosion, buller och risker för sjöolyckor och kostnader för infrastruktur (t ex hamnar, farleder, lotsning och isbrytning). Att emissioner svarar för den absolut dominerande delen illustreras av räkneexempel som presenteras i (SIKA 2000).

Den följande diskussionen om specifika effekter begränsas till emissioner och olyckor. Övriga effekter är små och behandlas inte genom kvantitativa samband.

Tabell 9 Effektsamband för sjöfart. Tabellen ger en kortfattad bedömning av effekters relevans och underlag i form av modeller, samt vilka faktorer som i första hand påverkar respektive effekt.

	Olyckor	Emissioner	Buller	Trängsel
Relevans	Låg (avser yrkessjöfarten)	Hög	Låg	Låg
Modeller	-	-	-	Samgods, Sampers
Faktorer		- Fartygstyp - Hastighet - Belastning - Bränslekvalitet - Reningsteknik	- Fartygstyp - Lastning och lossning	

Tabell 10 Effektsamband för CBA inom sjöfart. Tabellen anger de mest betydelsefulla effekterna av viktigare åtgärder och investeringar.

Åtgärd	Olyckor	Miljö	Buller	Trängsel
Farleds- och hamn-avgifter		•		
Trafikering med andra fartygstyper		•	•	(transport tid)
Miljövänligare bränsle		•		
Hastighet	•	•	(•) ³⁹	(transport tid)

3.3.2 Säkerhet

Olycksrisken för sjöfarten är generellt mycket låg. Av olyckor och incidenter svarar fritidsbåtar för den absolut största delen och yrkessjöfarten bara för en mindre del. Sjöfartsverket (Sjöfartsverket 2002) skiljer på ett antal olika risker, t ex:

- kollision mellan fartyg,
- nedsegling av andra sjöfarare,
- grundstötning,
- påsegling av sjömärken etc och
- påsegling av kaj eller annan anläggning.

Man konstaterar att riskbedömningar och kvantitativ uppskattning av risker genomförts för olika fartygsrörelser men inte systematiskt utnyttjats för beräkning av olyckskostnader. Flera uppmärksammade olyckor (t ex Estonia, Exxon Valdez och Star Clipper) har visat på de omfattande konsekvenser som olyckor för med sig. Riskerna är dock små och den vanligaste typen av olyckor innebär varken personskador eller allvarligare miljöskador. Internationell trafik med undermåliga

³⁹ Buller är främst ett problem i hamn, i samband med lossning och lastning.

fartyg har, å andra sidan, under senare tid visat på vilka risker som finns. Det gäller t ex oljetransporter med fartyg i Finska viken som inte är byggda för att klara de påfrestningar och extra krav som vinterklimatet här kräver. Problemet med internationell trafik och brister i fartygsstandard illustreras också av det grekiska fartyget "Prestige" som hösten 2002 klövs och sjönk utanför den spanska kusten.

Frågan om olyckor, olycksrisker och externa kostnader studeras i ett pågående VTI-projekt inom ramen för ett större tema om marginalkostnadsprissättning.

3.3.3 Emissioner

Effektsamband

Uppskattning av sjöfartens emissioner är på flera sätt annorlunda än uppskattning av emissioner från vägtrafiken. En anledning är att fartyg är unika på ett helt annat sätt än i fallet med vägfordon. Ofta handlar det om tillverkning av enstaka fartyg och i de fall serietillverkning sker så är serierna små. Sammantaget är det stor mångfald med många olika typer av fartyg. En ytterligare aspekt är den betydligt längre livslängden för handelsfartyg, vilket gör att fartyg i trafik kan vara av mycket varierande ålder.

Vid uppskattning av emissioner studeras antingen enskilda fartyg eller klasser av fartyg. I det senare faller låter man ofta klasser representeras av vissa typfartyg med dess specifika bränsle- och emissionsdata. Klasserna bestäms då i första hand av fartygstyp och storlek.

Bland olika typer av emissioner så är det för sjöfarten främst koldioxid (CO₂), kväveoxider (NO_x), svavel (SO₂) och partiklar som beaktas. Utsläpp av kolmonoxid (CO) uppfattas som ett mindre problem och utsläpp av kolväten (HC) kan i första hand hänföras till fritidsbåtar.

Under de senaste åren har frågan om sjöfartens emissioner lyfts fram i flera sammanhang och genom flera rapporter. Mycket handlar dock i första hand om ekonomisk värdering och frågan om marginalkostnader. En bra översikt ges av Per Kågeson (Kågeson 2000), där såväl emissionsnivåer som värdering diskuteras.

Inom den tunga vägtrafiken har minskad svavelhalt i dieselbränslet gjort svavelemissioner till ett i det närmaste försumbart problem. Svavelhalten i bensin har under senare år visserligen ökat men svavelemissioner från vägtrafiken är även totalt sett ett mindre problem. Inom sjöfarten är problemet med svavel betydligt större. Av svaveldioxidutsläppen 1999 svarade transporter inom alla transportslag för 22 procent, varav sjöfarten stod för 20 procentenheter (BIL Sweden 2001).

Generellt använder man inom sjöfarten väldigt varierande drivmedel (bunker). Handelsfartyg använder oftast tjockolja medan fartyg i kustnära områden oftare använder t ex diesel. Det finns tecken som tyder på att utvecklingen går mot bunkerolja av typen restprodukter, vilket leder till ökade kväveemissioner. Å andra sidan kommer högre ställda miljökrav som förbjuder sämre typer av olja. Sådana miljökrav kommer då också leda till lägre svavelhalter.

Miljödifferentierade farleds- och hamnavgifter har i Sverige gjort att många fartyg har gått över till bränsle med 0,5-1 procent svavel. På sikt kommer även den nivån att minska avsevärt.

Sammanfattningsvis spelar alltså valet av bränsle en avgörande roll för fartygens avgasemissioner. Stor roll spelar också olika typer av avgasrening, bland

annat s.k. selektiv katalytisk rening. Sådana lösningar minskar i första hand utsläppen av kväveoxider, men ibland till priset av ökad bränsleförbrukning.

Frågan om värdering av effekter ligger egentligen utanför rapportens syfte men med tanke på den aktuella diskussionen om värderingen av sjöfartens emissioner berör vi ändå kortfattat frågan. Vilka hälsoeffekter avgaser har beror till stor del på hur många människor som exponeras. Det gör att också värderingen blir olika på olika platser; allt beroende på befolknings- och spridningsförhållanden. Spridningen uttrycks här av lokala ventilationsfaktorer. För globala och regionala effekter är värderingen däremot absolut, i den meningen att den inte påverkas av omgivning eller andra förutsättningar. Den nu gällande värdering, enligt ASEK-värderingen (SIKA 1999), av utsläppens regionala och globala effekter återges i Tabell 11. Dessa värden har tagits fram och används under flera år och fortlöpande justerats med hänsyn till ny kunskap inom området.

Tabell 11 Värdering av utsläppens regionala och globala effekter enligt ASEK (SIKA 1999). Beloppen avser kr/kg, räknat i 1999-års prisnivå.

Ämne	Värdering (kr/kg)
NO _x	60
SO ₂	20
VOC	30
CO ₂	1,50

Under senare år, inom ramen för ExternE-programmet (Friedrich and Bickel 2001), har *Impact path*-metoden⁴⁰ utvecklats. Metoden innebär i korthet en strukturerad beskrivning i fyra steg av kedjan från emission, via spridning och effekter, till värdering. I en pilotstudie (Electrowatt-Ekono 2002), som genomförts på uppdrag av SIKA och Sjöfartsverket, har metodiken tillämpas under svenska förhållanden. Ett specifikt fartyg av standardtyp studerades för fyra olika rutter i Östersjön. Med relativt hög noggrannhet beskrevs respektive steg i modellen: (i) uppskattning av emissioner för aktuellt fartyg under aktuella rutter, spridning efter meteorologiska modeller (inkl kemisk omvandling av NO), uppskattning av fysisk påverkan och monetär värdering av uppskattade effekter.

En viktig slutsats av studien är att den resulterande värderingen i flera fall blev väsentligt lägre än den som idag tillämpas genom ASEK-värdena. För regionala effekter gick värderingen av SO_x från 20 kr/kg (ASEK) till 7 kr/kg. På motsvarande sätt minskade värderingen av kväveoxider från 60 kr/kg (ASEK) till 14 kr/kg (ExternE). De lokala effekterna av SO_x minskade i ännu högre utsträckning.

Kommentar

Det har konstaterats att fartyg byggs i enstaka exemplar eller bara i mindre serier, att fartyg kan vara av mycket varierande ålder, och att stora variationer kan förekomma i val av drivmedel. Av den anledningen är det svårare att bestämma avgränsade, homogena grupper för vilka emissionsegenskaper kan beskrivas. Istället låter man hela grupper, i termer av storlek och klass, representeras av verkliga fartyg (typfartyg) i respektive klass. Detta angreppssätt kan för enskilda relationer leda till stora systematiska fel. Det kan t ex vara så att en rutt alltid trafikeras av

⁴⁰ Metoden kallas också ExternE-metoden.

en typ av mindre lastfartyg men att denna typ ingår i en grupp som representeras av ett betydligt större fartyg.

Den stora variationen i valet av bränsle leder också till osäkerhet. Faktiska emissionsnivåer bestäms därmed av såväl tekniska data för fartyget som av kvalitén på bränslet.

Vid sidan av effektsamband och uppskattning av effekter ligger frågan om värdering. Skillnaden mellan de värden som tagits fram vid tillämpning av ExternE-metoden och tidigare etablerade ASEK-värdena är anmärkningsvärd.

En fråga av principiellt intresse är hur fritidsbåtar ska hanteras. I många sammanhang är det endast yrkessjöfarten som räknas in vid uppskattning av effekter av sjöfart. Det är dock klart att fritidsbåtar i flera fall svarar för de största problemen. Det gäller till exempel i fråga om säkerhet (antal omkomna genom sjöolyckor), avgasutsläpp (främst kolväten) och i många fall också buller. Särskilt vid jämförelse med andra transportslag, främst vägtrafik, är det klart att fritidssjöfart måste räknas in. Detta eftersom en viss del av trafikarbetet (husvagn, husbil etc) med bil till sin karaktär kan liknas vid fritidssjöfart.

3.3.4 Buller

Buller från sjöfarten är ett relativt litet problem. Störningar uppstår främst vid lastning och lossning i hamn, eller då fartyg ligger för ankar med maskin i gång för att klara energiförsörjningen. I det senare fallet handlar det om ett kontinuerligt, lågfrekvent buller. Riktvärden för buller från hamnverksamheten tas i normalfallet från Naturvårdsverkets ”Allmänna Råd för Externt industribuller” (RR 1978:5). Hur många som exponeras för buller från hamnverksamhet är inte känt.⁴¹

3.4 Flyg

3.4.1 Inledning

Inom säkerhetsområdet tar branschen, och därmed resenärerna, de mesta av kostnaderna för olika tekniska system, kontroll av bagage och passagerare, säkerhetshöjande men fördyrande rutiner etc. Det betyder att olyckskostnaderna i stor utsträckning är internaliserade (SIKA 2000) och att underlaget för marginalkostnadsprissättning är mycket begränsat.

⁴¹ Naturvårdsverket, *Riktvärden för trafikbuller vid nyanläggning eller väsentlig ombyggnad av infrastruktur – Förslag till utveckling av definitioner*, 2001-12-20 (remiss)

Tabell 12 Effektsamband för flyg. Tabellen ger en kortfattad bedömning av effekters relevans och underlag i form av modeller, samt vilka faktorer som i första hand påverkar respektive effekt.

	Olyckor	Emissioner	Buller	Trängsel
Relevans	Hög	Hög	Medel	Låg
Modeller		FOI's modeller. NTM	Swedish Aircraft Noise Model	
Faktorer		- Flygplanstyp - Motortyp - Antal passagerare	- Flygplanstyp	

Tabell 13 Effektsamband för CBA inom flyg. Tabellen anger effekterna av viktigare åtgärder och investeringar.

Åtgärd	Olyckor	Miljö	Buller	Trängsel
Nya flygplansmodeller		•	•	
Antal flygledare	•			
Utbyggd flygplatskapacitet				•

3.4.2 Säkerhet

Med Luftfartsverkets terminologi skiljer man på säkerhet och olyckor. Säkerhet handlar om sårbarhet och åtgärder i fråga om t ex flygplanskapningar, terroristhot och naturkatastrofer. Till viss del påverkas omfattningen av den här verksamheten inte direkt av trafikvolymen, även om vissa tröskeffekter förekommer. Det gäller beredskapen för naturkatastrofer, skydd mot intrång på flygplatser etc. För hot riktade mot flygplan, besättning och passagerare är situationen annorlunda. Antalet resenärer påverkar naturligtvis personalbehovet för säkerhetskontroll av passagerare och bagage. Kraven på kontroll har med tiden också skärpts, särskilt efter allvarligare händelser, t ex Lockerbie (1998) och terroristattacker i USA den 11 september 2001. Luftfartsverket, som i Sverige ansvarar för kontrollerna, täcker sina kostnader genom avgifter på biljetter. Genom detta system sker samtidigt en utjämning mellan stora och små flygplatser, så att kostanden för resenären inte blir högre vid små flygplatser med höga kostnader per passagerare.

Med olyckor menas haverier och dess följd effekter. I Sverige tillämpas en definition av haveri enligt ICAO⁴², Annex 13, där man i princip säger att *haveri föreligger om ett luftfartyg erhåller sådana skador att det inte kan anses som luftvärdigt och/eller allvarlig personskada uppstått eller någon omkommit ombord*

⁴² International Civil Aviation Organization

eller på marken (Luftfartsverket 2001). Med allvarlig personskada menas en skada som kräver minst två dygns sjukhusvård.

Under de senaste decennierna har svensk luftfart (reguljärtrafik och charter) haft i genomsnitt 1-2 haverier per år. Här räknas haverier med svenska flygplan oavsett var de inträffar. Vissa år har varit helt fria från haverier medan andra år har inneburit upptill tre haverier. Den absolut största delen av haverierna är dock utan dödlig utgång⁴³. Ett mera rättvisande mått kräver att antalet haverier sätts i relation till ett mått på exponering. Luftfartsverket använder flygtid och uttrycker haverifrekvensen som antal haverier per hundratusen flygtimmar. Under de senaste tio åren har haverifrekvensen gått ned och Luftfartsverkets trend pekar nu på att målsättningen om halvering mellan 1998 och 2007 kan komma att uppfyllas. Eftersom det är så små tal, med endast ett par haverier per år, är osäkerheten stor. Några enstaka haverier utöver den förväntade nivån kan leda till en motsatt slutsats.

Antal haverier och frekvens är intressanta nyckeltal men de säger ingenting om skadeutfall. Det betyder att ett haveri med en skadad person räknas på samma sätt som mera omfattande haverier med många omkomna. Vid jämförelser med övriga transportslag kan det därför vara mera relevant med mått som uttrycker skadeutfall per exponering.

För flyg liksom för tåg och sjöfart är olycksriskerna relativt små, samtidigt som konsekvenserna av en inträffad olycka kan vara omfattande. Man kan uttrycka det som att det förväntade utfallet är en produkt av en mycket låg risk och omfattande konsekvenser. Jämfört med vägtrafiken är detta ett problem vid statistisk utvärdering och modellbyggande. Under flera år, då det inte händer något allvarligt, kan utvecklingen se mycket gynnsam ut, vilket sedan, då några allvarligare händelser inträffat, kan leda till en snabbt förändrad bild. Av denna anledning är haverifrekvens ett i flygsammanhang bättre mått på utvecklingen än antalet döda eller svårt skadade.

Frågan om relevanta mått på exponering är också svår. Det är inte heller självklart vilken trafik som ska räknas med. Ska t ex olyckor med privat- och skolflyg utelämnas (Luftfartsverket 2001)? Vidare aktualiseras frågan om lämpligt exponeringsmått – personkilometer eller flygtidsproduktion. Valet har betydelse vid jämförelse av säkerheten mellan olika trafikslag. Ska flygresan Arlanda – Kiruna för 50 personer resultera i $50 \cdot 1216 = 60\,800$ personkm, ungefärligt vägvstånd, eller i 45 minuters flygtid?

Hur olycksrisken påverkas av ökad trafik, i form av fler flygplan, är starkt kopplat till frågan om trängsel. Det är rimligt att fler flygplan ger fler möjligheter till konflikter, såväl på marken som i luften, och därmed ökad risk för haverier. Trenden har dock varit den omvända; att haverifrekvensen historiskt har gått ner under ökande trafikvolym. Förklaringen kan här ligga i flygets systematiska sätt att dra lärdom av inträffade incidenter och det faktum att ökande trafik därmed, genom olika händelser, ger erfarenheter och underlag till förbättringar. Med den tradition som finns av ständiga förbättringar genom t ex incidentrapportering och haveriundersökningar är förhoppningen att begångna fel inte ska behöva upprepas. Naturligtvis har bibehållen säkerhetsnivå under ökande trafik krävt ökade resurser i fråga om t ex flygledare.

⁴³ Haverier med dödlig utgång har under perioden 1987-2001 bara inträffat vid två tillfällen: Oskarshamn (1989) med 16 döda och Milano (2001) med 118 döda.

Bortsett från historisk erfarenhet så saknas kunskap om hur trängsel påverkar olycksfrekvensen. För att säkert kunna bedöma den framtida utvecklingen så krävs ytterligare kunskap om effektsamband av denna typ. Prognoser och framtidsskattningar kräver också modeller med vars hjälp en förväntad framtida trafik-utveckling kan räknas om till olycksfrekvens.

3.4.3 Emissioner

Effektsamband

Bränsleförbrukningen och mängden avgaser som ett flygplan släpper ut under en flygning beror av en mängd olika faktorer. I första hand avgörs det av flygplansmodellen och dess specifika egenskaper, bland annat emissionsfaktorer. Därutöver är startvikt (inklusive initial bränslemängd) och flygsträcka av stor betydelse. Start- och landning är av helt annan karaktär, med betydligt högre emissionsnivåer, än flygningen däremellan. I modellsammanhang behandlas LTO (Landing and Takeoff), som avser rörelser på marken och flygning under 3000 fot, separat. Trots de extra utsläpp som start och landning innebär så har flygtrafiken bara marginell inverkan på luftkvalitén nära flygplatserna (Luftfartsverket 2002). Miljöeffekterna från flyget är i första hand mera övergripande.

I Sverige görs modellberäkningar i första hand av FFA och baseras då på internationella modeller och databaser samt på modeller utvecklade inom FFA. Piano (Simos 1997) är en stor internationell modell för emissionsberäkningar på existerande och projekterade flygplan. Den används för beräkning av utsläpp under flygning mellan start och landning. Modellen beräknar bränsleförbrukning och utsläpp av CO₂, NO_x, HC och CO. I Piano ingår också en omfattande databas över emissionsegenskaper för ett stort antal flygplansmodeller på marknaden (ICAO 1995). För uppskattning av emissioner i samband med start- och landning (LTO-faserna) har en särskild modell, HARP (Hasselrot 2000), utvecklats inom FFA/FOI. Modellen är härledd från en mekanistisk beskrivning av start- och landningsfasen.

FOI:s beräkningar bygger på emissionsfaktorer för varje certifierad motor. Certifieringsmätningar utförs vid fyra olika gaspådrag vilket FOI använder i sina simuleringsmodeller. Även för motorer som inte är certifierade kan tillverkarna lämna uppgift om emissionsfaktorer. Huvuddelen av emissionerna kommer dock från jetmotorer med väl kända data. För de motorer där emissionsfaktorer tagits fram genom standardiserade, internationellt accepterade metoder bedöms faktorerna vara av god kvalitet. Partiklar ingår inte, men ett utvecklingsarbete pågår vilket förmodas leda till att man kan räkna även på partiklar inom några år.

För turbopropmotorer finns inget krav på certifiering. Standardprocedurer kan användas för beräkningar, men dessa procedurer är egentligen för andra typer av motorer och ger därför inte helt korrekta värden för turbopropmotorer. Dessutom är det svårt att få tag i data för äldre turbopropmotorer. (Turbopropplan har motorer för kombinerad reaktions- och turbinpropeller).

För kolvmotorer och en del andra av äldre datum saknas mätningar. FOI har emellertid modellverktyg för att simulera även dessa och kan beräkna bränsleförbrukning och tämligen väl bedöma emissionsfaktorer. För sportflygplan används grova skattningar och för flygplatser med stort inslag av dessa plan blir särskilt beräkningarna av utsläppen av kolväten och kolmonoxid osäkra.

I jämförelse med beräkning av emissioner från vägtrafiken och sjöfarten innebär flyget en förenkling så till vida att antalet flygplan och flygplansmodeller är mera begränsat. Det är därmed möjligt att ha kontroll över egenskaper för förekommande modeller, t ex enligt den typen av databaser som nämns ovan. Vidare kan trafikarbetet beskrivas med större noggrannhet än för vägtrafiken och sjöfarten. I statistiken är flygningar till och från Luftfartsverkets flygplatser väl beskrivna på en detaljerad nivå, med uppgifter om t ex start- och landningsplats, flygplanstyp, startvikt och antal passagerare, se t ex (Pålsson 2001).

Noggrannheten i emissionsuppskattningar, för alla transportslag, bestäms av modellens egenskaper och av kvalitén i indata om trafik (mängd och mönster) och tekniska egenskaper för fordon/fartyg. Utmärkande för flyget är tillförlitlig statistik och därmed relativt hög noggrannhet i indata. Kvalitén i uppskattningar bestäms därmed i högre grad av egenskaper för använda beräkningsmodeller.

De beräkningar som Luftfartsverket gör, och som utgör nationella uppskattningar av flygets miljöpåverkan, baseras enbart på flygningar till eller från flygplatser under Luftfartsverkets kontroll. Det gör att en del flygningar, till exempel mellan Skavsta (Nyköping) och utlandet, inte kommer med i statistiken eller beräkningsunderlaget. Storleken på den avvikelse som detta innebär kan uppskattas genom att jämföra beräknad bränsleåtgång med SCB:s statistik om leveranser av flygbränsle. Jämförelsen ger en differens på ca 10 procent, varav hälften av differensen kan hänföras till icke-statliga flygplatser. Vid internationell rapportering justeras den modellberäknade uppskattningen efter SCB:s bränsleuppgifter (Grundström 2002).

Kommentar

De modeller som tillämpas måste anses vara relativt tillförlitliga. För trafiken till eller från statliga flygplatser finns också ett tillförlitligt underlag med detaljerad statistik över samtliga flygningar. Till största delen används vidare flygplansmodeller med väl kända emissionsegenskaper. Sammantaget bör denna del kunna beskrivas med god noggrannhet.

Ett problem är dock hanteringen av flygningar som inte ingår ovan, det vill säga flygningar mellan icke-statliga flygplatser. Dessa ingår inte alls i beräkningarna utan hanteras enbart genom schablontillägg.

Emissionsegenskaperna för de vanligaste modellerna inom trafikflyget bör, som sagt, vara tillförlitliga. Detta genom de internationellt accepterade metoder för certifierade mätningar som tillämpas. Ett problem är dock att partiklar inte ingår i emissionsfaktorerna. Arbete sker dock så att även utsläpp av partiklar ska kunna hanteras inom några år.

Vidare saknas emissionsfaktorer från certifierade mätningar för t ex turbo-propmotorer och för kolvmotorer saknas mätningar helt.

Vid uppskattning av flygets miljöeffekter bör hänsyn också tas till effekter av genererad vägtrafik, främst passagerare till och från flygplatser och leveranser av flygbränsle etc. Det är oklart i vilken omfattning detta sker.

3.4.4 Buller

Kring flygplatserna och utmed luftlederna till och från flygplatserna kan buller utgöra ett stort problem för många personer. I Sverige är det uppskattningsvis cirka 50 000 personer som på det sättet störs av flygbuller. Antalet minskar dock i takt med att äldre flygplan ersätts med nya. Eftersom antalet flygplatser (källor till

buller) är relativt begränsat och störande buller endast uppstår vid start och landning, relativt nära flygplatserna, så är det lättare att kartlägga berörda områden än i fallet med väg- och järnvägstrafik.

Försvarsmakten och Luftfartsverket har en framtagen beräkningsmodell för uppskattning av buller från flygtrafiken⁴⁴.

De olika transportslagen ska klara av Riksdagen fastställda riktvärden för bullerstörning, men man räknar på olika sätt för olika transportslag. Ett problem är hur bullerstörning ska räknas och jämföras mellan olika transportslag. Flyget innebär normalt högre max-värden medan särskilt vägtrafiken istället innebär kontinuerliga nivåer på lägre nivå. Vid lika dygnsekvivalent bullerexponering så är flygljud mer störande än ljud från vägtrafik. På motsvarande sätt är vägtrafikljud mer störande än tågtrafikljud. Frågan om definitioner och riktvärden för buller från olika trafikslag diskuteras i (Naturvårdsverket 2001).

3.4.5 Trängsel

Enligt Lennart Bergbom (Luftfartsverket) finns inga direkta trängselproblem för flyget i Sverige. Före 11 september 2001 var trängseln ett problem på Arlanda men sedan har flygtrafiken minskat. Trots att bana 3 inte används är det ingen trängsel.

⁴⁴ Swedish aircraft noise model, 1998-02-26.

4 Slutsatser och förslag till fortsatt arbete

4.1 Sammanfattning

Avsikten med rapporten har varit att ge en sammanhängande översikt över effekter och effektsamband för vägtrafik, järnväg, sjöfart och flyg. Trots begränsningen till fyra utvalda effektkategorier (säkerhet, emissioner, buller och trängsel) är området mycket omfattande, där varje kombination av transportslag och effektkategori i sig motsvarar egna forskningsområden. Kunskapen om respektive området är i många fall betydande. Det har därmed inte varit möjligt att ge heltäckande beskrivningar. Ett annat problem är att identifierade effektsamband och modeller inte alltid finns dokumenterade.

Utgångspunkten för rapporten har varit att identifiera de viktigaste effektsambanden för samhällsekonomisk kalkyl och att ta ställning till hur dessa hanteras i dagens modeller. I grova drag ska rapporten också peka på utvecklingsbehov inom respektive transportslag.

Efter den inventering som gjorts kan vi konstatera att det råder stora skillnader mellan olika transportslag och mellan olika effektkategorier; både i fråga om hur stora problem respektive effekt innebär för samhället och hur de hanteras vid samhällsekonomisk kalkyl. I de flesta fall kan man säga att kunskapen om effekter och effektsamband, och även möjligheten till modellering, står i proportion till hur stort problem effekten innebär för samhället. Det gör t ex att vägtrafiken, som genomgående svarar för de största effekterna, står i särställning även i fråga om dokumenterad kunskap om effekter och tillgången till beräkningsmodeller. På motsvarande sätt är t ex beräkningsmodeller för buller mest välutvecklade för väg och järnväg. Mellan transportslagen är det också stora skillnader i fråga om hur effektberäkningar och samhällsekonomisk kalkyl går till i praktiken. Inom vägtrafiken finns välutvecklade modellsystem och fastlagda principer för hur beräkningar ska göras, medan det inom sjöfarten i större utsträckning har varierat från fall till fall. Där tillämpas ofta kalkyler av mera företagsekonomisk karaktär.

En principiellt intressant skillnad mellan vägtrafiken och övriga transportslag kan beskrivas som ”många små” kontra ”få stora”. Det betyder att på vägsidan består trafiken av många fordon/fordonstyper, många olika förare/förartyper och relativt få personer i varje fordon. Den motsatta bilden gäller inom såväl järnväg, sjöfart som flyg. Inom järnväg är det till exempel relativt få typer av lok eller motorvagnar, och persontåg har ofta relativt många passagerare. Detta innebär att effekter inom vägtrafiken till sin karaktär ofta blir mera ”kontinuerliga” medan effekter för övrigt transportslag blir mera av ”diskret” typ. Inom vägtrafiken handlar det t ex om många olyckor med högst ett fåtal döda eller svårt skadade, medan det inom övriga transportslag är betydligt färre olyckor men ofta med allvarligare konsekvenser. Effekten är att det inom vägtrafiken är enklare att räkna på risker och förväntade utfall, samtidigt som utvecklingen över tiden är jämnare och mindre stokastisk. Motsvarande typ av resonemang kan föras inom både emissioner och buller. Bullerstörningar från tåg består ofta av kraftig störning från ett mindre antal passerande tåg medan bullerstörning från väg kan ge ett mera kontinuerligt bakgrundljud.

Tabell 14 sammanfattar de mest centrala effektsambanden för respektive transportslag och anger de differentieringar som bedöms vara viktigast för cost-benefit analys (CBA) och vid marginalkostnadsberäkning (MK).

Tabell 14 Sammanställning av de mest centrala effektsambanden inom respektive transportslag och viktiga faktorer vid tillämpningar inom *cost benefit* och *marginalkostnad*.

Transportslag	Centrala effektsamband	Några viktiga faktorer vid ...	
		CBA ⁴⁵	Särskilt MK
Väg	Säkerhet	Hastighet Trafikflöde ⁴⁶ Väg-/korsningstyp	Tätort/landsbygd Fordonstyp (lätt/tung) Vägmiljö
	Emissioner	Trafikflöde Andel tung trafik Fordonstyper ⁴⁷ Tätort/landsbygd	Fordonstyper Tätort/landsbygd Befolkning (tätort)
	Buller	Trafikflöde Andel tung trafik Hastighet Bullerskydd	Fordonstyper Tätort/landsbygd Trafikflöde
	Trängsel ⁴⁸	Trafikflöde Länk- och korsningskapacitet	Kapacitetsutnyttjande ⁴⁹ + övrigt enl. ovan.
Järnväg	Säkerhet	Trafikmängd Korsningsstandard Säkerhetssystem. (ATC)	Person-/godstrafik
	Emissioner	Trafikmängd Typ av lok (motor) Diesel-/eldrift Typ av elproduktion (genomsnitt?) Förluster vid eldrift	Typ av lok (motor) Elproduktion (marginal?)
	Buller	Trafikmängd Tätort/landsbygd Typ av tåg Hastighet Bullerskydd	Trafikmängd Tätort/landsbygd Typ av tåg
Sjöfart (yrkessjöfart)	Emissioner	Trafikmängd Fartygstyp Bränslekvalitet	Fartygstyp Bränslekvalitet
Flyg	Emissioner	Flygplanstyp Passagerare/last	Flygplanstyp Passagerare/last
	Buller	Flygplanstyp Bullerkänslighet flp.	Flygplanstyp Bullerkänslighet flp.

⁴⁵ Den åtgärd som CB-analysen avser innebär i sig en effekt som måste uppskattas på särskild sätt. Listan över faktorer är avser de variabler som främst påverkar åtgärdseffektens storlek.

⁴⁶ Enligt tidigare diskussion finns det i statistiken inget stöd för att olycksrisken på landsbygd ökar med ökande trafikmängd (ÅDT). *Antalet* olyckor skulle därmed vara proportionellt mot trafikmängden, och marginalkostnaden vid ökande trafik skulle, räknat i antalet olyckor, vara noll. I tätort behöver detta däremot inte sant.

⁴⁷ Med fordonstyp menas typ av fordon, årsmodell, bränsle (bensin/diesel/bio), avgasrening.

⁴⁸ Trängsel för vägtrafiken gäller storstadsregionerna, och främst i tätorterna.

⁴⁹ Med kapacitetsutnyttjande menas aktuellt flöde i förhållande till ”maximalt” flöde.

En allmän slutsats är att det i många fall saknas samverkan mellan de olika transportslagen och att effekter inte alltid beräknas på ett enhetligt sätt. Stora skillnader finns också i fråga om hur välutvecklad modellapparat som finns inom respektive område, och även hur väldokumenterade de modeller och samband som tillämpas är. För samhällsekonomisk värdering finns också många gränsdragningsproblem, som egentligen ligger utanför frågan om effektsamband. Det gäller t ex

- Olyckor och emissioner härrörande till fritidsbåtar. Ska de räknas in vid jämförelser mellan transportslagen?
- D:o inom flyg; hur ska privatflyg hanteras?
- Emissioner från eldrivna lok?

Generellt önskas större grad av samsyn mellan transportslagen. Utan gemensamma förutsättningar och gemensamt synsätt är analyser och jämförelser mellan transportslagen inte meningsfulla.

Inom **vägtrafik** bedöms samtliga av de effektkategorier som här beskrivs vara ytterst relevanta och de effektmodeller som används relativt tillförlitliga, även om förbättringar på utpekade punkter vore önskvärt. För vidareutveckling och förståelse av effektsamband inom *trafiksäkerhet* krävs kontinuerlig tillgång till detaljerad olycksstatistik och fortsatt arbete med deskription och modellutveckling med avseende på åtgärder. Det senare gäller såväl effekter av vägutformning som andra åtgärder, t ex nu aktuell automatiskt hastighetsövervakning och dynamiska hastighetsgränser. För övergripande uppföljning inom trafiksäkerhetsområdet vore fördjupad statistisk analys önskvärd, så att framför allt långsiktiga trendkomponenter med större säkerhet kan urskiljas och att betydelsen av korta tidsserier lättare kan bedömas. Här ligger också ett behov av att i rapportering tala mera i termer av osäkerhetsintervall.

För uppskattning av vägtrafikens *emissioner* finns mycket arbete gjort och detaljerade modeller finns utvecklade, bland annat effektsambanden i Vägverkets EVA-modell. Ett prioriterat område borde vara vidareutveckling av EVA-sambanden så att även trängsel, med låga hastigheter och kökörning som följd, kan analyseras. Det är idag inte möjligt. Det finns även behov av modellutveckling på bredare front (se vidare avsnitt 3.1.3), större dataunderlag och mera mätdata.

Buller är relativt väl behandlat inom vägområdet. Liksom inom emissioner krävs vidareutveckling av modeller för buller vid kökörning. En annan möjlig generell brist är att man vid bulleruppskattning idag inte tar hänsyn till vägytans kondition.

Tillförlitlig beskrivning av *trängsel*, som i första hand berör storstäderna, förutsätter trafiktekniskt korrekt beskrivning av länkar och korsningar (kapacitet och flödesberoende fördröjning), och användning av en typ av modeller som har förmåga att fånga upp den dynamik som köer och trängsel innebär. Dynamiska modeller, till exempel Contram och modeller för mikrosimulering, har av den anledningen blivit alltmer intressanta alternativ till statiska modeller.

Inom **järnväg** har arbetet med *säkerhet* under senare år haft särskilt fokus på plankorsningar, där trenden därmed under hela nittioalet har varit mycket gynnsam. Av dödsolyckor, självmord borträknade, står olyckor i samband med kraftig

oförsiktighet (klättring på vagnar, vistelse på spårområde etc.) för en stor del. Hur dessa ska räknas vid marginalkostnadsberäkning kan diskuteras.

En viktig fråga inom *emissioner* för järnvägen är hur utsläpp från eldrivna lok ska beräknas. Beroende på tillämpning, CBA eller MK, kan det argumenteras för olika principer; genomsnittliga utsläpp räknat över all elproduktion respektive utsläpp förenade med elproduktion ”på toppen”. Hur man räknar har en avgörande inverkan på den samhällsekonomiska kalkylen för järnväg. Idag räknas eldrivna tåg som helt fria från avgaser. Beräkning av emissioner från diesellok bygger på flera olika lokmodeller kan låta sig representeras av ett mindre antal typlok; se vidare avsnitt 3.2.3.

För uppskattning av *buller* från järnväg finns välutvecklade modeller, liknande se som används för vägtrafik. Problemen är, sett i förhållande till exponering, störst i tätorter.

Trängsel, uttryckt som brist på spårutrymme vid tidtabellsläggning eller i samband med förseningar, kan analyseras genom etablerade simuleringsmodeller och för direkt samhällsekonomisk värderingen har tekniker baserat på auktionsförfarande prövats experimentellt.

Inom **sjöfart** står fritidsbåtar för de största problemen inom *säkerhet*. Den absoluta merparten av omkomna inom sjöfart kan normalt hänföras till fritidssektorn. Säkerhet handlar dock inte enbart om personskador. Risken för allvarliga miljöskador kan i många fall vara ett större problem, vilket inte minst nu aktuella olyckor eller hotande olyckor med oljetankers illustrerar. Ett stort projekt om marginalkostnadsprissättning, kopplat till säkerhet inom sjöfarten, pågår.

Uppskattning av sjöfartens *emissioner* försvåras av den stora mångfald som gäller inom fartygsområdet. Tekniken att låta grupper av fartyg representeras av typfartyg kan innebära betydande fel. Den nyligen genomförda studien av ExternE-metoden visar också på osäkerhet i värderingen av sjöfartens emissioner.

Såväl *buller* som *trängsel* måste ses som små eller obefintliga problem inom sjöfarten.

För **flyg**, liksom för tåg och sjöfart, är *olycksriskerna* relativt små, samtidigt som konsekvenserna av inträffade olyckor kan vara omfattande. Samtidigt finns frågan om lämpliga exponeringsmått. En viktig aspekt är också hur säkerheten inom flyget påverkas av ökande trängsel. Analogt med frågan om fritidsbåtar inom sjöfarten finns inom flyget distinktionen mellan trafik- och privatflyget, där den senare normalt står för en betydande del av olyckorna inom flyget.

Vid kartläggning av *emissioner* från flyget så är det en allvarlig brist att endast trafik till eller från statliga flygplatser räknas. Detta bör medföra en märkbar underskattning av de totala nivåerna. Ett annat problem är partiklar, som kan innebära allvarliga hälsorisker, inte räknas.

Problemen med *buller* är koncentrerade geografiskt till områdena kring flygplatserna. Det gör det relativt enkelt att uppskatta hur stort problemet är och hur stor befolkning som är berörd. Vad som räknas in i buller från flyg är därmed endast det som uppstår i samband med start och landning; inte buller från flygning däremellan.

I Sverige har *trängsel* endast varit ett problem på Arlanda, men efter senare tids nedgång och i kombination med den tredje banan på Arlanda finns överhuvudtaget inga problem.

4.2 Rekommendationer

Genom detta arbete har vi: (i) identifierat effektsamband som är centrala för samhällsekonomisk kalkyl inom respektive transportslag och (ii) beskrivit vilka av dessa samband som beaktas och hur det görs i dagens modeller. Mera översiktligt har vi också (iii) diskuterat hur väl underbyggda använda samband är och (iv) tagit ställning var de största bristerna är.

För det fortsatta arbetet rekommenderar vi i första hand att punkt (iii) och (iv) genomförs med betydligt större ambition än vad som har legat inom ramen för detta uppdrag. Det betyder att man relativt grundligt bör analysera de modeller som används och, så långt som möjligt, baserat på oberoende slutsatser fastställa vad som ligger till grund för modellerna och identifiera de största bristerna. I den långsiktiga planen ingår sedan ytterligare aktiviteter, syftande till initiering av FoU inom området. Avsikten med detta delprojekt och föreliggande rapport är att ge en övergripande sammanställning av effektsamband inom respektive transportslag, och att därmed ligga till grund för kommande steg enligt ovan. Konkreta rekommendationer på vidareutveckling inom specifika områden ligger därmed utan uppdraget. Under arbetets gång har vi dock konstaterat ett antal områden med brister i modeller eller i principer för tillämpning. Inom följande områden kan vi direkt se behov av fortsatt arbete⁵⁰:

- Beräkning av vägtrafikens emissioner vid kökörning i låga hastigheter.
- Hastighet/flödessamband för tätort.
- Analys av modellval för nätutläggning (assignment) i tätort.
- Hantering av emissioner från eldrivna tåg. Vi föreslår här en internationell översikt för att se hur problemet hanteras utomlands.
- Metodik för uppskattning av trängseffekter och dess värdering inom järnväg.
- Värdering av emissioner från sjöfarten (ExternE vs ASEK).
- Osäkerhetsanalys. Inom många områden tillämpas komplexa modeller på osäkra förutsättningar och antaganden. Vilken osäkerhet ger det i resultaten?
- Relevanta mått på trängsel i tätorter och dess koppling till miljö.

Genomgången pekar dessutom på ett stort behov av att fortsätta kartläggningen med den andra fas som från början skisserades, och där göra ett mera omfattande analysarbete enligt steg (iii)-(iv) ovan.

⁵⁰ Listan innehåller områden där vidareutveckling kan motiveras av behov inom samhällsekonomisk kalkyl. Uppräkningen kan naturligtvis inte göra anspråk på att vara komplett, utan tar upp vissa områden som under projektets gång har visat sig vara eftersatta. Det kan vidare finnas ej nämnda områden som är högt prioriterade men av andra skäl än samhällsekonomisk analys.

Referenser

- Arvidsson, L. (2001). Samhällsekonomisk analys av en ny sluss i Södertälje. Stockholm, SEVENCO.
- Banverket (1999). Statistik över olyckor på statens spåranläggningar.
- Banverket (2001). Beräkningshandledning - Hjälpmedel för samhällsekonomiska bedömningar inom järnvägssektorn.
- Banverket (2002). Miljörapport 2001.
- Banverket, Luftfartsverket, et al. (2000). Trafikverkens miljörapport år 2000.
- Banverket and SIKa (2002). Nya banavgifter? Analys och förslag.
- Bergh, T. (2003). Privat kommunikation.
- BIL Sweden (2001). Bilismen i Sverige 2001.
- Bång, K.-L., A. Carlsson, et al. (2001). Effektmodellen för vägtrafikanläggningar - Projektbeskrivning. Stockholm, KTH, LTH, VTI.
- Carlsson, A. (1992). Hastighetsflödesdiagram på timnivå. Linköping, VTI.
- Carlsson, A. (2002). Uppföljning av mötesfria vägar - Halvårsrapport 2001:2. Linköping, VTI.
- Carlsson, A. (2003). Privat kommunikation.
- Carlsson, A. and H.-Å. Cedersund (2000). Makromodeller för på- och avfarter. Stockholm, KTH.
- Edwards, H. (1998). Estimation of excess cold start emissions on links in traffic networks, VTI.
- Electrowatt-Ekono (2002). Estimation of marginal environmental emission costs of maritime transport - Pilot study based on the ExternE methodology.
- Eliasson, J. (2002). Förseningar, restidsosäkerhet och trängsel i samhällsekonomiska kalkyler, Transek AB.
- EU-kommissionen (2001). Vitbok - Den gemensamma transportpolitiken fram till 2010: Vägval inför framtiden.
- Friedrich, R. and P. Bickel, Eds. (2001). Environmental external costs of transport. Stuttgart, Springer Verlag.
- Grundström, R. (2002). Telefonsamtal. U. Björketun.

Hammarström, U. (1999). Mätningar och simulering av bilavgaser - körning med och utan husvagn i olika körcykler. Linköping, VTI.

Hammarström, U. (1999). Uppdatering av EVA-sambanden, VTI.

Hammarström, U. and H. Edwards (1999). COLDSTART - En beräkningsmodell för beskrivning av bilavgaser i form av kallstartstillägg under verkliga förhållanden. Linköping, VTI.

Hammarström, U. and B. Karlsson (1987). VETO - ett datorprogram för beräkning av transportkostnader som funktion av vägstandard, VTI.

Hammarström, U. and B. Karlsson (1998). EMV - Ett PC-program för beräkning av vägtrafikens avgasemissioner. Programbeskrivning och användarhandledning. Linköping, VTI.

Hasselrot, A. (2000). FFA Methods for computing exhaust emissions from aircraft: Description and validation, FFA.

ICAO (1995). Engine exhaust emissions data bank.

Ivarsson, T. (2000). Förslag till NO_x-avgifter för dieseldrivna järnvägsfordon.

Johansson, J. (2000). Internalisering av väg- och järnvägstrafikens externa olyckskostnader, SIKÅ.

Johansson, Ö. (2002). Vägverkets trafiksäkerhetsmodeller vid vägplanering, projektering och vid olycksanalys.

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

Kågeson, P. (2000). Internalisering av sjöfartens externa kostnader, Nature Associates.

Lagerkranser, J. (2000). Tågbuller - Utvärdering med binaural teknik samt förslag till åtgärder, LTH.

Luftfartsverket (2001). Underlag för fortsatt utveckling av transportpolitikens kostandsansvar.

Luftfartsverket (2002). Om miljöfrågor - LFFV's hemsida. **2002**.

Matstoms, P. (1998). Nya timbaserade V/D-funktioner med korsningstillägg. Linköping, VTI.

Matstoms, P., H. Jönsson, et al. (1996). Beräkning av volume/delay-funktioner för nätverksanalys. Linköping, VTI.

- Naturvårdsverket (2001). Riktlinjer för trafikbuller vid nyanläggning eller väsentlig ombyggnad av infrastruktur.
- Naturvårdsverket and Banverket (2000). Buller från spårbunden trafik - nordisk beräkningsmodell.
- Naturvårdsverket, Vägverket, et al. (1996). Vägtrafikbuller, Naturvårdsverket.
- Nilsson, G. (2000). Hastighetsförändringar och trafiksäkerhetseffekter. Linköping, VTI.
- Nilsson, G. (2002). Trafiksäkerhetsutvecklingen i Sverige under 1990-talet, VTI.
- Nilsson, J.-E. (2000). Tidtabellläggning - Fyra scenarier som illustrerar en modells funktion. Borlänge, CTEK.
- Nylander, P. (1998). Utveckling av metodiken för samhällsekonomiska kalkyler inom sjöfarten. Stockholm, SIKa.
- Pyddoke, R. (2000). Marginalkostnader för knapphet på spårkapacitet, SIKa.
- Pålsson, A. (2001). Avgasemissioner från civil flygplanstrafik i Sverige under åren 1995-2000. Stockholm, FOI, Avdelningen för Flygteknik FFA.
- Samplan (1999). Valet av nätanalyssystem till Sampers. Stockholm, SIKa.
- Sandberg, U. (2002). Privat kommunikation.
- Schmidt, K. (1998). VD-funktioner för nätverksanalys i tätort. Solna, Transek AB.
- SIKA (1999). Översyn av samhällsekonomiska kalkylprinciper och kalkylvärden på transportområdet.
- SIKA (2000). Transporter och kommunikationer. Årsbok 2000/2001.
- SIKA (2000). Översyn av förutsättningarna för marginalkostnadsbaserade avgifter i transportsystemet. Stockholm.
- SIKA (2002). Uppföljning av det transportpolitiska målen. Stockholm, SIKa.
- Simos, D. (1997). PIANO, Project interactive analysis and optimization, User's guide, Lissys Limited, Woodhouse Eaves LE 12 8RL, UK.
- Sjöfartsverket (2002). Sjöfartens externa kostnader - Kunskapsläge och behov av kunskapsutveckling. Norrköping.
- SWECO (1999). Samhällsekonomisk analys av investering i farlederna till Göteborgs hamn, SWECO.

SWECO (2000). Samhällsekonomisk analys avseende utbyggnad av slussarna i Trollhätte kanal. Göteborg, VBB VIAK Trafikplanering.

Trivector (2001). Buller Tåg NMT. Lund.

Vägverket (1995). CAPCAL 2 - Model description of intersection without signal-control, Vägverket.

Vägverket (1999). Trängsel i tätort - Stockholm, Göteborg och Malmö.

Vägverket (2001). Effektsamband 2000.