

Samhällsekonomisk kalkyl avseende motorvägsstyrningssystem (MCS)

Förslag till metodik



v1.0

2018-04-01

movea

Per Strömgren och Gunnar Lind

Innehåll

1	BAKGRUND OCH SYFTE	1
2	AVGRÄNSNING AV MCS.....	1
3	SAMHÄLLSEKONOMISKA KALKYLER.....	2
4	UNDERLAG.....	3
4.1	Trafiksituationen före åtgärd	4
4.2	Planerade installationer	4
4.3	Hantering av olika trafiksituationer.....	5
4.4	Aktivering av trafikledning.....	5
5	BESKRIVNING AV BERÄKNINGSGÅNG.....	7
5.1	Arbetsbok i Excel.....	7
5.2	Generella kalkylvärden.....	8
5.3	Komplettering med MCS/kövarning/rekommenderad hastighet på befintliga motorvägar	9
5.3.1	Indata	10
5.3.2	Säkerhet.....	10
5.3.3	Framkomlighet.....	11
5.3.4	Miljö.....	11
5.3.5	Kostnader.....	12
5.4	Uppgradering av MCS med VH/harmonisering på befintliga motorvägar.....	13
5.4.1	Säkerhet.....	13
5.4.2	Framkomlighet.....	14
5.4.3	Miljö.....	15
5.4.4	Kostnader.....	16
5.5	Egna indata	16
5.5.1	Olycksrisk	16
5.5.2	Frifordonshastighet	16
5.5.3	Fördröjning pga incidenter	16
5.5.4	Andel tät trafik.....	17
5.5.5	Kostnader.....	17
6	EFFEKTER AV KÖVARNING/REKOMMENDERAD HASTIGHET.....	17
6.1	Erfarenheter	17
6.2	Tillämpning.....	19
6.3	Förväntade effekter.....	23
7	EFFEKTER AV KÖRFÄLTSAVSTÄNGNING	26
7.1	Erfarenheter	26
7.2	Tillämpning.....	27
7.3	Förväntade effekter.....	31
8	EFFEKTER AV VARIABEL HASTIGHET/HARMONISERING	31

8.1	Erfarenheter	31
8.2	Tillämpning.....	33
8.3	Förväntade effekter.....	35
9	EXEMPEL PÅ TILLÄMPNING.....	37
9.1	Indata för E4 Södertäljevägen	38
9.2	Trafiksäkerhet.....	38
9.3	Framkomlighet med trafikledningssystem	39
9.4	Framkomlighet vid aktiv trafikledning i tät trafik.....	40
9.5	Framkomlighet vid olyckor och haverier	41
9.6	Miljö och climateffekter	42
9.7	Kostnader för trafikledning	43
10	FORSKNINGSBEHOV FÖR FRAMTIDA FÖRBÄTTRINGAR	44
	REFERENSER	45

1 Bakgrund och syfte

I dagens metodik för samhällsekonomisk bedömning saknas vedertagna metoder för ITS-åtgärder. ITS-åtgärder skiljer sig från andra vägåtgärder genom att nyttan inte är en direkt följd av själva investeringen utan främst en konsekvens av hur installationerna utnyttjas för aktiv vägtrafikledning. Det är därför mycket viktigt att kartlägga både installationen i sig och hur den är tänkt att utnyttjas. Aktuella ITS-åtgärder i gällande planeringsomgång är bl.a. implementering av motorvägsstyrningssystem (MCS).

Tidigare har försök gjorts att ta fram metodik bl.a. i projektet STEGLITS, 2008. Där användes en internationell (USA) metod vid namn IDAS, som föreslogs bli en europeisk standard för samhällsekonomisk analys. Problemet var att systemet var svårt att hantera och en hel del parametrar var specifika för USA och dessutom hårdkodade.

Ett problem med alla effektberäkningar tycks vara att de kräver alltför stort förarbete för att ta reda på omfattningen av åtgärden, hur stort trafikarbete som berörs och användarnas reaktion på åtgärden.

Projektet avser att ta fram en enkel schablonmetod för samhällsekonomisk bedömning för åtgärder med MCS, vilket innefattar rekommenderad hastighet, harmonisering, rött kryss (stängt körfält), och gul pil (byt körfält enligt pilens riktning). Den tänkta metoden i detta projekt är att utifrån tidigare försök till samhällsekonomisk bedömning av MCS-åtgärder iterativt ta fram en metodik som kan hanteras inom ramen för åtgärdsplaneringen.

Syftet med projektet är att underlätta genomförandet av översiktliga nytto-kostnadsanalyser av MCS-implementation, som i ett första steg omfattar kövarning med rekommenderad hastighet, harmonisering med föreskriven hastighet, rött kryss (stängt körfält), och gul pil (byt körfält enligt pilens riktning).

Målet är att fler översiktliga analyser genomförs i praktiken, antingen på förhand (ex-ante) för att prioritera åtgärder inom ramen för åtgärdsplaneringen eller i efterhand (ex-post) för att utvärdera genomförda åtgärder.

Nyttan av projektet är noggrannare och tillförlitligare planeringsunderlag, speciellt för storstadsregionerna.

2 Avgränsning av MCS

Trafikledningssystem för motorvägar kan bestå av olika delar. Vanliga exempel är:

- Varning för akuta händelser (symboler, textmeddelanden, kövarning, rekommenderad hastighet)
- Harmonisering av hastighet (tids- eller flödesberoende hastighetsgränser)
- Körfältsavstängning (kryss, pilar)
- Dynamisk trafikantinformation (restider, trafikstatus)
- Omdisponering av vägren (vägren utnyttjas som extra körfält under rusningstid)
- Aktiv omledning (rekommendationer via textmeddelanden eller symboler)
- Påfartsreglering (tids- eller flödesberoende begränsningar av påfartsflödet)

Som framgår av syftet görs **i denna version av kalkylen** en avgränsning till de tre första tillämpningsområdena. Eventuella behov att täcka övriga tillämpningsområden hänskjuts framtida projekt.

Tjänst/system för **varning för omedelbar fara** (oftast kövarningssystem) installeras där stora och plötsliga hastighetsfall förekommer på motorvägar med mycket trafik. Det primära är att snabbt uppnå förarnas förståelse av aktuell situation nedströms och därmed lägga grunden till att de närmar sig faran med försiktighet. Om besvärliga väder- och väglagsförhållanden ofta förekommer kan komplettering med varning för halka, dimma m.m. övervägas.

Harmonisering av hastighet med variabla föreskrivna hastighetsgränser tillämpas på tätt trafikerade motorvägar med fordonshastigheter på 80 km/h eller mer. En sänkning av hastighetsgräns med 20 km/h i rusningstid kan minska risken för kapacitetssammanbrott och olyckor. Det primära är att uppnå lugnare trafik med liten hastighetsspridning och enhetliga tidsluckor. Övervakning och kampanjer kan bidra till ökad homogenisering.

Körfältssignaler för **avstängning av körfält** installeras på motorväg för att underlätta underhållsarbete och effektivisera arbetet vid incidenter. Med mycket trafik är det viktigt att snabbt kunna stänga av körfält vid hinder och att varna ankommande trafikanter om detta. Olika principer för reglering är lämpliga för smala respektive breda motorvägar.

3 Samhällsekonomiska kalkyler

Metodiken för samhällsekonomiska kalkyler (SEK) beskrivs i Trafikverkets publikationer. En samhällsekonomisk kalkyl ingår som en del av det totala beslutsunderlaget i Trafikverkets planeringsprocess och kan användas tillsammans med annat underlag i olika skeden och på olika nivåer i planeringen. I Trafikverket används den samhällsekonomiska kalkylen framförallt för att analysera konkreta, fristående investeringsåtgärder. Det kan vara nya väginvesteringar, byggnationer eller trafiksäkerhetsåtgärder. Kalkylen redovisar projektets samhällsekonomiska lönsamhet, vilket är ett underlag för beslut om en åtgärd ska genomföras, men även underlag vid val mellan olika alternativ för bästa utformning av projektet, eller för att eventuellt ändra utformning. Kalkylen kan användas för att analysera komplexa trafikpolitiska åtgärder på strategisk nivå, som exempelvis underlag för en samlad investeringsplanering (åtgärdsplanering), där kalkylen ger underlag om hur åtgärderna bör prioriteras ur en samhällsekonomisk synpunkt.

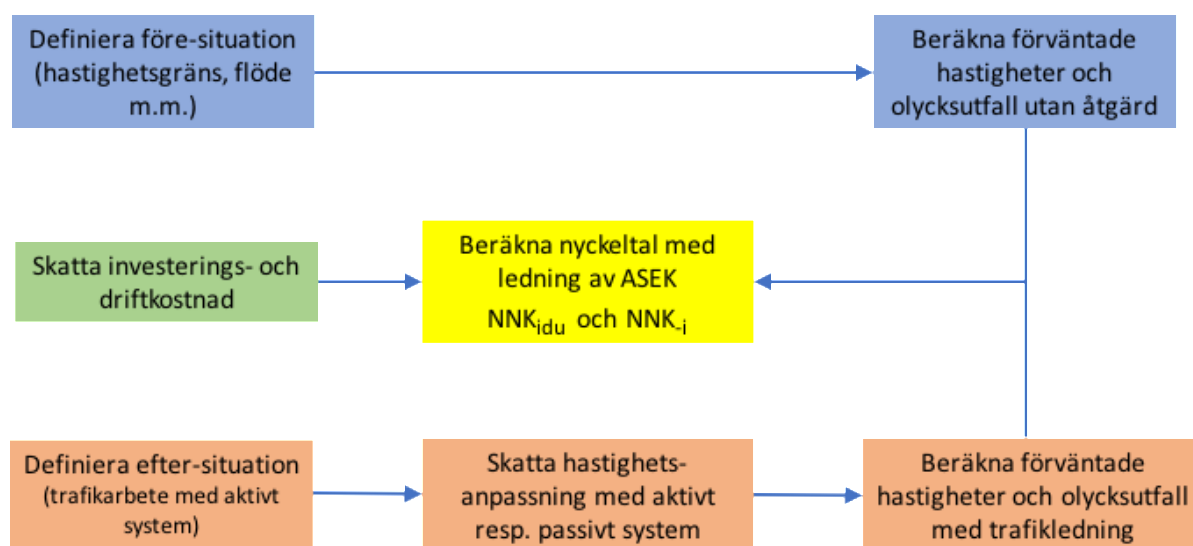
Även om kalkylmetodiken hittills mest använts för fysiska åtgärder är det inget som hindrar att samma metodik används även för trafikledning. Ekonomistyrningsverket har i rapport 2004:29A "Räkna på lönsamheten!" (ESV 2004) beskrivit hur såväl samhällsekonomiska kalkyler som andra former av kalkyler kan användas vid statlig verksamhetsutveckling. Fördelen med en samhällsekonomisk kalkyl är att den kan ge en "objektiv" helhetsbild av vilka effekter som uppstår för samhället i samband med en åtgärd.

Syftet med kalkylen är att analysera kostnader och intäkter (nyttor) för att sedan kunna rangordna åtgärder efter hur effektivt samhällets knappa resurser utnyttjas genom att skapa så stor välfärd som möjligt för samhället (samhällsekonomisk lönsamhet). Genom en samhällsekonomisk kalkyl får man en bild av den samhällsekonomiska lönsamheten. Det kan sägas att utförandet av samhällsekonomiska kalkyler kan vara ett styrmedel för att uppnå största möjliga måluppfyllelse för samhället som helhet. Kalkylen kan även innehålla en

utvärdering av fördelningseffekter mellan olika trafikantgrupper i samhället som resultat av åtgärden eller åtgärdspaketet. Se vidare Kapitel 2 Samhällsekonomisk teori och metod i ASEK 6.1 (Trafikverket, 2018a).

Om en åtgärds fördelar överväger dess kostnader ökar välfärden i samhället och åtgärden bör därför genomföras och tvärtom om kostnaderna väger över. En åtgärd får med andra ord ”inte kosta mer än den smakar”.

Beräkningarna kan göras manuellt eller automatiskt. Här föreslås en mellanvariant i form av en halvautomatisk Excel-lösning, som baseras på schablonmässiga effektberäkningar men med möjlighet för användaren att tillföra eget underlag i den mån sådant finns tillgängligt. Nedan visas stegen i en sådan beräkning för trafikledningssystem på motorvägar (MCS).



Figur 3.1 Steg i nytto/kostnadsanalys för trafikledningssystem

Trafik på högtrafikerade motorvägar medför särskilda kapacitets- och trafiksäkerhetsproblem, som måste beaktas i den samhällsekonomiska kalkylen. Exempel är:

- Hastighetsvariationer i samma körfält och mellan körfält då trafiken tättnar
- Varierande förekomst av tung trafik som drar ned vägens kapacitet och skapar oro
- Plötsliga hastighetsfall och kö till följd av
 - Kapacitetsbrist (flaskhalsar nedströms) som delvis kan vara förutsebara
 - Planerade hinder (kapacitetsbegränsningar t ex underhållsarbete)
 - Oförutsebara hinder i samband med olyckor, fordonshaverier, tappad last mm
- Varierande hastighetsval och avståndshållning pga. skillnad i körförmåga samt osäkerhet om väder och väglag

4 Underlag

Viktiga förutsättningar för att kunna beräkna nyttan och kostnaden för MCS-systemet utgörs främst av:

- Kartläggning av trafiksituationen före åtgärd (trafikflöde, trafikvariationer, hastighetsbegränsningar, medelhastigheter, olyckor m.m.)
- Tydlig beskrivning och placering av föreslagna installationer (rekommenderade hastigheter, symboler, harmonisering, körfältssignaler m.m.)

- Tydlig beskrivning av hur olika trafiksituationer kommer att hanteras genom trafikledningssystemet (tät trafik, händelser, underhåll)
- Tydlig beskrivning av hur ofta MCS-systemet kommer att aktiveras (rusningstrafik, händelser, olyckor, underhåll etc.). I förekommande fall algoritmer som kommer att tillämpas.

Ju tydligare beskrivningen av trafiksituationen och den framtida användningen av trafikledningssystemet är, desto större är möjligheterna att bedöma nytta och kostnader.

4.1 Trafiksituationen före åtgärd

- trafikflöde
- trafikvariationer
- hastighetsbegränsningar
- medelhastigheter
- olyckor

Trafikflödet kan hämtas från trafikflödeskartan. Trafikvariationer är viktiga för att kunna skatta hur ofta MCS-systemet är aktivt. Hastighetsbegränsningar och framför allt fordonshastigheter vid olika trafikförhållanden är viktiga för att beräkna restidsvinster av MCS. Om det inte finns uppmätta hastigheter skattas dessa med TRV:s Effektsamband utifrån vägtyp, hastighetsgräns och ÅDT.

Kartläggning av olyckssituationen är viktig för att kunna bedöma säkerhetsvinsterna. För huvudanalysen används olyckor enligt Effektsamband, analys baserat på ”verkligt utfall” får användas vid känslighetsanalys. Nuläget kan kartläggas genom STRADA. Om det inte finns någon sammanställning från STRADA skattas förväntat antal olyckor genom TRV:s Effektsamband utifrån vägtyp, hastighetsgräns och ÅDT.

4.2 Planerade installationer

- typ av installation
- antal och placering av portaler
- rekommenderade/föreskrivna hastigheter
- symboler, vägmärken
- körfältssignaler

MCS-installationer kan bestå av flera olika funktioner. Rekommenderade hastigheter (utan röd ring) installeras för att varna för köslut. Detta kan kompletteras med variabla föreskrivna hastighetsgränser (med röd ring) för harmonisering vid tät trafik samt symboler (kryss och pilar) för körfältsgrening. Dessa tre system hanteras här.

Antal och placering av portaler har betydelse för flexibiliteten och utformningen av trafikregleringen. Normalt är avståndet mellan portalerna ca 500 meter, men kan vara större på landsbygden. De faktiska hastigheterna i det variabla hastighetsgränssystemet påverkar trafikanternas reaktioner. Rekommenderade hastigheter omfattar normalt 70-30 km/h. Variabla föreskrivna hastigheter innebär normalt högre hastighetsgränser och förses med röd ring.

Symboler och vägmärken i anslutning till rekommenderade eller föreskrivna hastighetsgränser förstärker trafikanternas reaktioner och ökar efterlevnaden. Än större effekt skulle automatisk hastighetsövervakning ha, enligt erfarenheter från utlandet. Detta har dock ännu ej aktualiserats för motorvägar i Sverige. Körfältssignaler, pilar och kryss, underlättar körfältsreglering och leder till att körfältsbyten sker på ett ordnat sätt på ett längre avstånd från plats där ett eller flera körfält är avstängda i samband med incidenter eller underhållsarbete.

4.3 Hantering av olika trafiksituationer

- Tätt trafik
- Låga hastigheter och köer
- Fordonshaverier, olyckor och andra händelser
- Planerat underhåll

I samband med tät trafik kan hastighetsgränsen regleras genom sänkt variabel hastighetsgräns. Hastighetsgränsen kan styras utifrån tid på dagen eller vara beroende på ett visst uppnått trafikflöde. Syftet är att harmonisera trafiken så att skillnader i hastigheter och avståndshållning minskar. Det är viktigt att reagera snabbt innan trafiksammanbrott inträffar. Det är därför oftast lämpligt att automatisera systemet.

På t.ex. Södertäljevägen har fordonsstyrda variabla hastighetsgränser införts. Systemet berör främst rusningstrafiken måndag-fredag samt veckoslutstrafiken fredag eftermiddag ut från Stockholm och söndag kväll in mot Stockholm. Totalt utgör detta 13% av trafiken, men systemet aktiveras endast när flödet är så stort att det riskerar att leda till överbelastning.

Med sekundärolyckor menas olyckor som uppstår i köer i efterdyningarna till olyckor (primära olyckor) eller andra incidenter. Ökad risk för sekundärolyckor uppstår särskilt vid plötsliga låga hastigheter till följd av chockvågor. Risken kan minskas genom textmeddelanden, vägmärken och rekommenderade hastigheter.

Räddning, röjning och återställning av väg i samband med fordons haverier, olyckor och andra incidenter kan underlättas genom avstängning av körfält och nedsättning av hastighet. Trafikledningen kan aktivera gula pilar och röda kryss i samband med avstängning av körfält. Hastigheten kan också sättas ned i kvarvarande öppna körfält. Incidentdetekteringssystem (AID), övervakningskameror och nödfickor underlättar upptäckt och hantering av incidenter.

Planerat underhåll kan genomföras smidigare och med lägre olycksrisk genom avstängning av körfält och nedsättning av hastighet. Trafikledningen kan redan i förväg aktivera gula pilar och röda kryss i samband med avstängning och arbete i ett eller flera körfält. Dessutom kan arbete annonseras i förväg genom VMS-skyltar.

Kalkylen bygger på erfarenheter från Sverige, Europa och USA. Den kan därför anses vara representativ för genomsnittlig god standard i olika motorvägsstyrningssystem. Riktlinjer för god standard finns framtagna bl.a. genom Easyway, där Trafikverket medverkat.

4.4 Aktivering av trafikledning

- Harmonisering vid tät trafik
- Rekommenderade hastigheter vid fordons haverier och olyckor

- Körfältssignaler vid avstängning av körfält

Harmonisering genom sänkning av föreskriven hastighet med 20 km/h rekommenderas internationellt vid trafik överstigande 70-80% av vägens kapacitetsmaximum. På Södertäljevägen sänks hastigheten från 100 km/h till 80 km/h när flödet överstiger 325 fordon per femminutersperiod. Vägen är uppdelad på två delsträckor. När kriteriet är uppfyllt sänks hastigheten på en hel delsträcka. När hastigheten sänks varar sänkningen i minst femton minuter.

Rekommenderade hastigheter sänks successivt före köslut vid olyckplatser. På motorvägar med MTM2¹-system tillämpas en AID²-algorithm som innebär att när hastigheten sjunkit till 45 km/h, sätts den rekommenderade högsta hastigheten ned till 70 km/h. När fordonshastigheten når 35 km/h sätts den rekommenderade hastigheten ned till 50 km/h. Om hastigheten sjunker ända ned till 18 km/h så visas 30 km/h som rekommenderad högsta hastighet. När hastigheten ökar till 55 km/h igen ändras den rekommenderade hastigheten till 50 km/h och när den når 75 km/h visas 70 km/h. Den sista gränsen är 85 km/h då de rekommenderade hastigheterna tas bort och normal hastighetsgräns gäller igen.

På stadsmotorvägar tillämpas bara de lägre hastigheterna. Systemet är då ofta aktivt även vid återkommande köer i rusningstrafik, inte bara vid olyckor och incidenter.

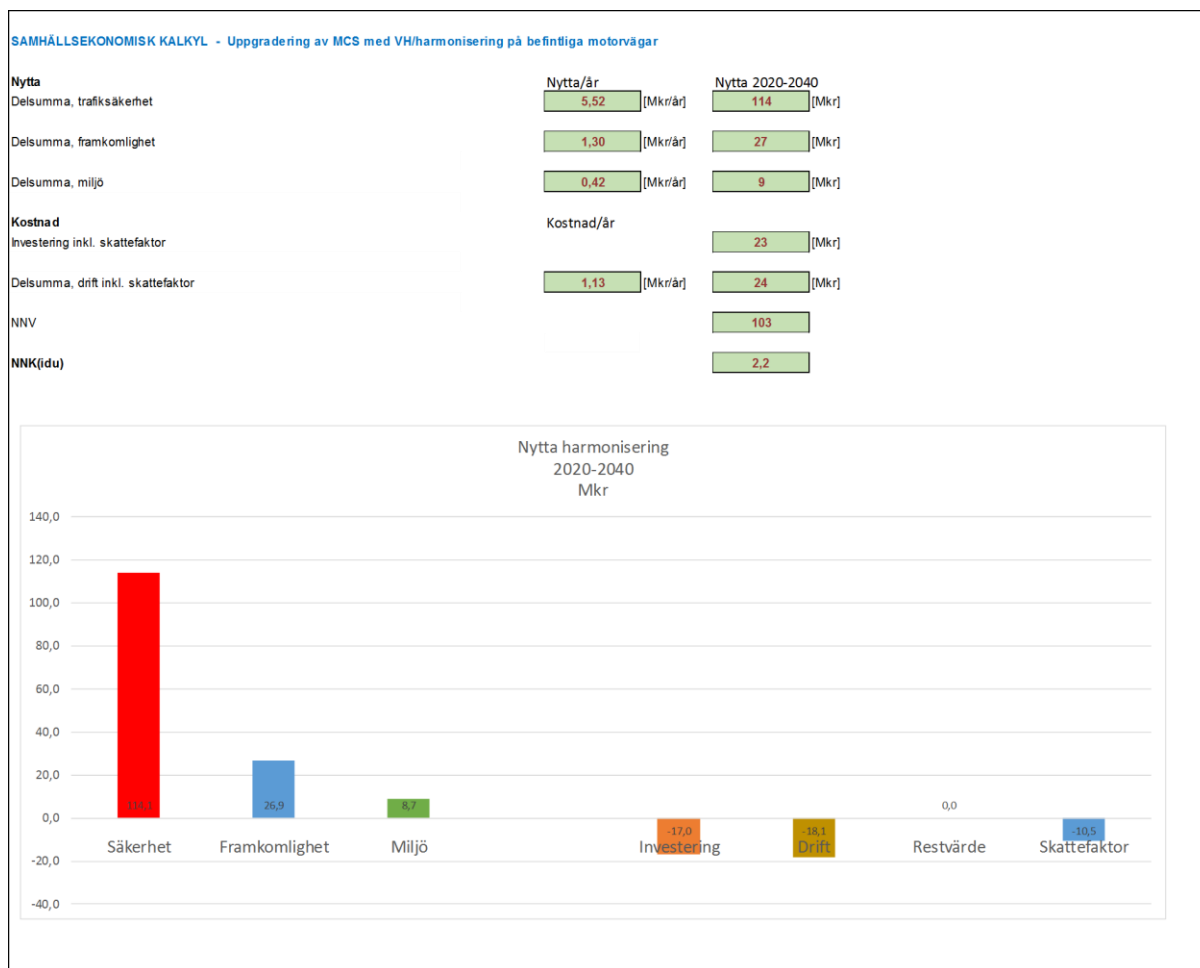
Vid planerat underhåll stängs körfält genom hastighetsbegränsning, gula snedpilar och rött kryss över aktuellt körfält uppströms sträckan med stängt körfält. Tillåten hastighet på sätts vanligen manuellt till 40-60 km/h av trafikledaren.

¹ MTM2 är det styrsystem som tillämpas för de flesta motorvägar i Sverige

² AID = Automatic Incident Detection; algorithm som styr aktivering av körfältssignaler

5 Beskrivning av beräkningsgång

5.1 Arbetsbok i Excel



Beräkningarna genomförs i en arbetsbok i Excel. I det första kalkylbladet anger man indata och får ut beräkningsresultat. Beräkningarna är uppdelade på 'Komplettering av motorväg med MCS/kövarning' och Uppgradering av MCS med variabel hastighet för harmonisering i tät trafik'. Vi har tänkt oss att det finns en befintlig motorväg som i steg 1 kompletteras med MCS/kövarning och senare när trafiken ökat uppgraderas med harmonisering i tät trafik. Översiktliga beräkningsresultat i siffror framgår av fliken 'Samhällsekonomisk kalkyl'.



Till hjälp vid beräkningarna finns flikar för normalvärden, sekundärolyckor, tät trafik, miljö, investering & drift samt ASEK6. I 'Normalvärden' anges schabloner för frifordonshastighet och olycksrisker. I 'Sekundärolyckor' hämtas schabloner för förekomst av incidenter och effekter vid aktivering av MCS/kövarning. I 'Tät trafik' hämtas schabloner för andel tät trafik, konsekvenser av överbelastning och effekter vid aktivering av VH för harmonisering. I 'Miljö' hämtas schabloner för bränsleförbrukning i normal trafik och vid kökörning. I 'Investering & drift' hämtas schabloner för investering och drift av MCS. I 'ASEK6' hämtas värderingar från ASEK6.1.

5.2 Generella kalkylvärden

Beräkningarna utgår från ASEK 6.1, kapitel 5 Kalkylprinciper och generella kalkylvärden.

prisnivå = 2014

infrastrukturkostnader uppräknas med anläggningskostnadsindex

trafikanteffekter uppräknas med KPI

Inkomsteffekter uppräknas med BNP/capita, vilket även gäller betalningsvilja

Drift- och underhållskostnader omräknas till basår (2014)

Ökning av skuggpriser antas till 1,5% per år (2014-2060)

Bränslepris uppräknas 0,7% för bensen, 0,8% för diesel (2014-2040), 0,2% under (2010-2060)

MCS antas installeras under ett enda år.

Öppningsår i kalkylerna antas till år 2020.

Diskonteringsår är 2020.

Prognosår 1 är 2040 och prognosår 2 år 2060.

Kalkylperiod för MCS 40 år med antagen reinvestering efter 20 år.

Samhällsekonomisk lönsamhet beräknas genom NNK-idu, dvs kvot med investering samt drift och underhåll inkluderat på kostnadssidan.

Diskonteringsräntan är 3,5%

Momspåslag 21% för uppräkning till konsumentpriser

Skattefaktor = 1,3, som tillämpas för investering, drift och underhåll

5.3 Komplettering med MCS/kövarning/rekommenderad hastighet på befintliga motorvägar

Komplettering med MCS/kövarning/rekommenderad hastighet på befintliga motorvägar			Indata	Egna värden	Kommentar/antagande
		väggtyp	MV 6kf		Hämtas från flik "Indata & Resultat"
		ÅMD	79000 f/d		Hämtas från flik "Indata & Resultat"
		% Lb	8		Hämtas från flik "Indata & Resultat"
		hastighetsgräns	100 km/h		Hämtas från flik "Indata & Resultat"
Trafikarbete som berörs	331,0 Mapkm/år	sträcka	11,3 km		Hämtas från flik "Indata & Resultat"
Olyckskostnad	349,9 Mkr/år	olyckor/år	75,1	75,1	Hämtas från flik "Normalvärden" eller egen utredning
Sekundärolyckor som följd av primärolycka (skattat antal sekundärolyckor)	11 per år	andel sekundärolyckor	15%		Andel sekundärolyckor har uppskattats till 15% av psk-olyckor i USA. Ökad olycksrisk kan uppskattas till 3 ggr högre i köema efter olyckor
Minskning av sekundärolyckor tack vare kövarning/rek.hastighet	3,2 per år	minskad skadeföljd pga varning	28%		Konsekvens av sekundärolyckor uppskattas minska med 10-50% tack vare MCS/kövarning (beror av hastighet)
Delsumma, säkerhet	48,3 Mkr/år	värdering	15,28 Mkr/olycka		Hämtas från "ASEK" med skadeföljd enligt "Normalvärden"
Restid normalt	3,2 Mftim	medelhastighet	103,5 km/h	103,5	Hämtas från flik "Normalvärden" eller egna mätningar
Minskad restid tack vare generell hastighetsökning	0,02 Mftim		104,0 km/h		Hastighetsökning 0,5 km/h när MCS ej är aktivt
		värdering generell hastighetsökning	190 kr/fh		Avser normal restid och hämtas från flik "ASEK"
Extra restid pga allvarliga incidenter	0,13 Mftim	Frekvens (incidenter/månad)	24,1	24,1	Hämtas från flik "Sekundärolyckor" eller egen utredning
Minskad fördröjning tack vare kövarning /rek.hastighet	0,0054 Mftim		4,2%		Fördröjning minskar 1,5-7,5% tack vare färre incidenter och lugnare inbromsningar
Delsumma, framkomlighet	6,5 Mkr/år	värdering av oväntade förseningar	665 kr/fh		Avser förseningstid och hämtas från flik "ASEK"
		normal bränsleförbrukning	0,57 liter/mil		hämtas från flik "Miljö"
Bränsleförbrukning pga sekundärolyckor	0,2 M liter	bränsleförbrukning i kö	1,53 liter/mil		Ökad förbrukning vid incidenter hämtas från flik "Miljö"
Minskad bränsleförbrukning tack vare kövarning / rek.hastighet			0,07 M liter		Kökörning minskar till följd av färre sekundärolyckor
Minskad koldioxidutsläpp	0,16 M kg		2,37 CO2/liter		Viktas mht andel lastbilar
Delsumma, miljö	0,2 Mkr/år	värdering	1,14 kr/kg CO2		Hämtas från flik "ASEK"
MCS-anläggning, investering		20 års livslängd	67,8 Mkr	67,8	Schablon från flik "Investering & drift" eller egen utredning
Restvärde		Efter 20 år	19,8 Mkr	19,8	Schablon från flik "Investering & drift" eller egen utredning
Drift		per år	5,7 Mkr	5,7	Schablon från flik "Investering & drift" eller egen utredning
Delsumma, kapitalkostnader	10,1 Mkr/år				
Summa, nytta	55,0 Mkr/år				
Summa, kostnad	10,1 Mkr/år				

Figur 5.1 Beräkningsark för kövarning/rekommenderad hastighet

Ett beräkningsark (Figur 5.1) har tagits fram för att genomföra en samhällsekonomisk kalkyl av motorvägsstyrningssystem (MCS). Färger hänvisar till olika flikar med underlagsvärden.

	Förklaring
	justerbara teller (indata)
	värden för olika vägtyper enligt flik "Normalvärden"
	egna värden från flik "Indata & Resultat" som ersätter schablonvärden t.ex. vid känslighetsanalys
	värden som hämtas från flik "Sekundärolyckor"
	värderingar som hämtas från flik "ASEK 6"
	värden för olika fordonshastigheter enligt flik "Miljö"
	schablonkostnader enligt flik "Investering & drift"

5.3.1 Indata

Vägtyp: Antal körfält på motorvägen (MV 4f, MV 6f eller MV 8f)

ÅMD: Trafikflöde (fordon/dygn) på sträckan öppningsåret (2020) enligt uppräknings från Trafikflödeskartan eller egna mätningar.

% Lb: Andel lastbilar på sträckan

Hastighetsgräns: Högsta tillåtna (föreskrivna) hastighet (km/h)

Sträcka: Väglängd dubbelriktad motorväg (km) som ska förses med MCS

Trafikarbete som berörs av åtgärden beräknas genom att räkna upp trafikflödet till årsvärde och multiplicera med sträckans längd (normalt $\text{ÅDT} \cdot 365 \cdot \text{längd (i km)}$).

5.3.2 Säkerhet

Olyckskostnaden och antal olyckor/år hämtas från fliken "Normalvärden". Beräknat utfall beror av antal körfält, hastighetsbegränsning samt berört trafikarbete.

Förhöjd risk för sekundära olyckor i köerna uppstår efter olyckor och andra incidenter. Plötsliga oväntade hastighetsfall leder till ökad risk för upphinnandeolyckor. Den ökade olycksrisken kan uppskattas till ca 3 ggr högre i köerna efter olyckor, baserat på att *andel sekundärolyckor* på motorvägar i förhållande till ursprungliga personskadeolyckor har uppskattats till 15% i USA. Se vidare *Avsnitt 6.3*. Med detta antagande kan *antal sekundärolyckor* beräknas.

Effekten av MCS med kövarning/rekommenderad hastighet har baserats på erfarenheter från Nederländerna, där man skattat att systemet minskar antalet sekundärolyckor med ca 50%.

Denna siffra avser effekten vid höga hastigheter, 120 km/h, som råder på de holländska motorvägarna. Vid lägre fordonshastigheter antas effekterna bli mindre, eftersom hastighetskillnaden till kön blir mindre. Skattade effekter vid andra fordonshastigheter beräknas i fliken ”Sekundärolyckor” enligt potensregeln. Se vidare *Avsnitt 6.3*.

Med ledning av detta antagande beräknas *minskning av sekundärolyckor tack vare kövarning/rek. hastighet*.

Sekundärolyckor innebär i huvudsak upphinnandeolyckor vid plötsliga hastighetsfall. Dessa antas ha samma svårighetsgrad som genomsnittliga personskadeolyckor. Värderingen för *normalolyckor* enligt ASEK är därför relevant. Med ledning av värderingen kan *delsumma säkerhet* beräknas.

5.3.3 Framkomlighet

Medelhastighet hämtas från flik ”Normalvärden”. Hastigheten påverkas av antal körfält, hastighetsbegränsning och trafikflödet (ÅMD).

Restid normalt beräknas med ledning av medelhastigheten och trafikarbetet på sträckan.

Fördröjningar uppstår pga olyckor och andra incidenter samt efterföljande köer. Förekomsten av olika typer av incidenter har skattats till ca 180 000 per år för hela svenska vägnätet. Dessa har här klassats i fem kategorier beroende på varaktighet. De tre kategorier som har en varaktighet över 45 min (0,75 timmar) motsvarar en andel på 27% av alla incidenter och utgör de som har störst sannolikhet att leda till kövarning. Det betyder att vi bortser från incidenter med kortare varaktighet, som ofta har mindre konsekvenser och där effekterna av kövarningar är betydligt mindre.

Tabell 5.1 Skattad frekvens av allvarliga incidenter på statliga vägnätet

		Andel
V1 = Varaktighet (h)	1,5	1%
V2 = Varaktighet (h)	1	9%
V3 = Varaktighet (h)	0,75	17%

För varje kategori V1-V3 har belastningsgrad skattats och fördröjningen beräknats med en modell framtagen mha CALMAR och empiriska incidentdata. V4 och V5 antas ha endast liten sannolikhet att leda till kövarning och beaktas ej.

Minskad fördröjning beräknas genom antagandet att förekomsten av alla allvarliga konsekvenser (V1-V3) minskar i samma utsträckning som sekundärolyckor genom kövarning/rek.hastighet. Minskningen blir då 1,5-7,5% beroende på högsta hastighet.

Fördröjningen innebär oväntad extra restid för trafikanten. Värderingen för *förseningstid* är därför relevant. Med ledning av värderingen kan *delsumma framkomlighet* beräknas.

5.3.4 Miljö

Bränsleförbrukningen är högre för kökörning än för normal trafik. *Förbrukningen* för normal trafik och vid kökörning hämtas från fliken ”Miljö”.

5% av trafikarbetet på motorvägar antas beröras av köerna i samband med trafikolyckor och 15% av dessa utgörs av sekundärolyckor, som kan påverkas genom kövarningar. Därmed kan *bränsleförbrukning pga sekundärolyckor* beräknas.

Sekundärolyckor uppskattas enligt ovan minska med 10-50% tack vare MCS/kövarning. Med ledning av detta beräknas *minskad bränsleförbrukning tack vare kövarning/rek. hastighet*.

Koldioxidinnehållet i bränslet antas uppgå till 2,37 kg/liter för personbilar och 2,54 kg/liter för lastbilar. Därigenom kan *minskat koldioxidutsläpp* beräknas.

Den negativa effekten av koldioxidemissioner uppskattas till 1,14 kr/kg per kg CO₂. Med ledning av värderingen kan *delsumma miljö* beräknas.

5.3.5 Kostnader

MCS-anläggningen uppdelas på infrastruktur (portaler m.m.) och kommunikationsutrustning. Infrastrukturen antas ha 40 års livslängd och kommunikationsutrustningen 20 års livslängd.

Schablonvärde för *MCS-anläggning, infrastruktur resp kommunikationsutrustning* hämtas från flik ”Investering & drift. Även schablon för driftkostnader hämtas från flik ”Investering & drift.

5.4 Uppgradering av MCS med VH/harmonisering på befintliga motorvägar

Uppgradering av MCS med VH/harmonisering på befintliga motorvägar			Indata	Egna värden	Kommentar/antagande
		vägtyp	MV 6kf		Hämtas från flik "Indata & Resulat"
		ÅMD	79000 f/d		Hämtas från flik "Indata & Resulat"
		% Lb	8		Hämtas från flik "Indata & Resulat"
		hastighetsgräns	100 km/h		Hämtas från flik "Indata & Resulat"
Trafikarbete som berörs	331,0 Mapkm/år	sträcka	11,3 km		Hämtas från flik "Indata & Resulat"
Därav med tät trafik och aktivt system	12,6 Mfkm/år		3,8%		Andel trafik över 70% kapacitetsutnyttjande (v/c > 0,7), hämtas från flik "Tät trafik" eller egen utredning. Reducerad funktionalitet antas till 0,75 för semi-automatiskt system.
Olyckskostnad	349,9 Mkr/år	olyckor/år	75,1	75,1	Hämtas från flik "Normalvärden" eller egen utredning
Olyckor i samband med tät trafik (skattat antal primärolyckor)	2,9 per år	andel olyckor i tät trafik	4%		Olycksrisk antas oförändrad vid tät trafik
Minskning av personskadeolyckor tack vare VH/harmonisering	0,4 per år	minskning pga harmonisering	1,0%		Psk-olyckor uppskattas minska 15-25% tack vare harmonisering (beror av hastighet)
Delsumma, säkerhet	5,52 Mkr/år	värdering	15,28 Mkr/olycka		Hämtas från "ASEK" med skadeföljd enligt "Normalvärden"
Restid normalt i tät trafik	0,12 Mftim	medelhastighet	103,5 km/h	103,5	Hämtas från flik "Normalvärden" eller egna mätningar
Extra restid vid överbelastningar	0,08 Mftim	Frekvens (tillfällen/månad)	4,0	4,0	Hämtas från flik "Tät trafik" eller egen utredning
Minskad fördröjning tack vare VH/harmonisering	0,0046 Mftim		6,0%		Minskad fördröjning uppskattas till 1-15% med VH/harmonisering beroende på hastighetsgräns
Delsumma, framkomlighet	1,30 Mkr/år	värdering av extra fördröjning i rusningstrafik	285 kr/fh		Avser trängseltid och hämtas från flik "ASEK 6"
Bränsleförbrukning vid tät trafik	0,71 M liter		0,57 liter/mil		Hämtas från flik "Miljö"
Minskad bränsleförbrukning tack vare VH / harmonisering	0,16 M liter		1,18 liter/mil		Ökad förbrukning vid överbelastning hämtas från flik "Miljö"
Minskat koldioxidutsläpp	0,4 M kg		2,37 CO2/liter		Viktas mht andel lastbilar
Delsumma, miljö	0,42 Mkr/år	värdering	1,14 kr/kg CO2		Hämtas från flik "ASEK"
Kommunikationsutrustning, investering		reinvestering efter 20 år	17,0 Mkr	17,0	Schablon från flik "Investering & drift" eller egen utredning
Drift		per år	1,1 Mkr	1,1	Schablon från flik "Investering & drift" eller egen utredning
Delsumma, kapitalkostnader	2,3 Mkr/år				
Summa, nytta	7,2 Mkr/år				
Summa, kostnad	2,3 Mkr/år				

Figur 5.2 Beräkningsark för variabel hastighet/harmonisering

	Förklaring
	värden som hämtas från flik "Tät trafik"

5.4.1 Säkerhet

Harmonisering med variabla hastigheter kan påverka trafiken vid hög belastning med orolig trafik. Hastigheten sänks normalt vid 70-80% kapacitetsutnyttjande.

Tät trafik definieras som andel trafik över 70% av maxkapaciteten ($v/c = \text{volume} / \text{capacity} \geq 0,7$). Andel trafik över 70% av kapacitetsgränsen beror av vägtyp och flöde och hämtas från flik ”Tät trafik”. Med ledning av denna kan *trafikarbetet i tät trafik* beräknas.

VH-systemet kan aktiveras genom automatik eller manuellt. Kalibrering krävs under några månader för att få systemet att fungera optimalt. Erfarenhet från utvärderingen på E4 Södertäljevägen (jfr *kap 9*) är att systemet måste reagera snabbt för att få full effekt. Harmoniseringen aktiverades ca 50% av tiden med manuell aktivering och 75% med automatisk aktivering. Vi har förutsatt automatisk aktivering och därför satt funktionaliteten till 0,75.

Frekvens polisrapporterade olyckor för vägtypen hämtas från fliken ”Normalvärden”. Olycksrisken beror av antal körfält och hastighetsbegränsningen. Med ledning av detta beräknas förväntat antal *olyckor per år* på sträckan.

Frekvens dödade, svårt skadade, lindrigt skadade och egendomsskadeolyckor för vägtypen hämtas från fliken ”Normalvärden”. Kombinerat med skadevärderingar från ASEK beräknas *olyckskostnad* per år på sträckan.

Förhöjd risk för olyckor uppstår i samband med tät trafik enligt kanadensiska forskningsresultat. Den oroliga trafiken med ökade hastighetsskillnader och varierande distanshållning leder till ökad risk för sammanbrott och upphinnandeolyckor. Se vidare *Avsnitt 8.3*. Effekten är dock måttlig för allvarliga olyckor. Vi antar därför att olycksrisken är oförändrad i förhållande till trafikarbetet för personskadeolyckor. Med detta antagande kan andel och antal olyckor i tät trafik beräknas.

Effekten av MCS med variabel hastighet/harmonisering har baserats på erfarenheter från Nederländerna, där man skattat att harmoniseringen minskar antalet olyckor med ca 50% när systemet är aktivt. Denna siffra avser effekten vid höga hastigheter, 120 km/h, som råder på de holländska motorvägarna. Vid lägre fordonshastigheter antas effekterna bli mindre, eftersom hastighetsskillnaden mellan olika fordon blir mindre och förarnas förmåga att hantera situationen blir bättre. Skattade effekter vid andra fordonshastigheter beräknas i fliken ”Tät trafik” enligt potensregeln. Se vidare *Avsnitt 8.3*.

Med ledning av detta antagande beräknas *minskning av personskadeolyckor tack vare VH/harmonisering* genom att multiplicera med andel tät trafik.

Olyckor i störd trafik innebär i huvudsak upphinnandeolyckor vid plötsliga hastighets- eller avståndsförändringar. Dessa antas ha samma svårighetsgrad som genomsnittliga personskadeolyckor. Med ledning av värderingen kan *delsumma säkerhet* beräknas.

5.4.2 Framkomlighet

Medelhastighet hämtas från flik ”Normalvärden”. Hastigheten påverkas av antal körfält, hastighetsbegränsning och trafikflödet (ÅMD).

Restid normalt i tät trafik utan trängsel beräknas med ledning av medelhastigheten, trafikarbetet och andel tät trafik på sträckan. Andel tät trafik beror av trafikflödet (ÅMD) och antal körfält på sträckan. En tabell finns i flik ”Tät trafik”.

Fördröjningar uppstår vid tät trafik framför allt genom att antalet sammanbrott med efterföljande köavveckling reduceras. Antalet överbelastningar som funktion av trafikarbete med tät trafik har uppskattats med modell framtagen mha CALMAR, som kalibrerats mot

utfall för Södertäljevägen. Både överbelastningar i rusningstrafik och under veckoslut beaktas. Se vidare *Avsnitt 8.3*. Med ledning av detta antagande kan *extra restid vid överbelastningar* beräknas.

Antalet sammanbrott och sammanhängande fördröjning reduceras tack vare VH /harmonisering. Endast ett empiriskt svenskt exempel finns från Södertäljevägen. Där reduceras fördröjningen med hälften under aktiva perioder med harmonisering innan sammanbrott inträffar. Detta motsvarar totalt ca 6% lägre fördröjning under hela rusningsperioden. Med detta antagande har den *minskade fördröjningen tack vare VH /harmonisering* beroende på hastighetsgräns skattats enligt nedan.

Tabell 5.2 *Minskad fördröjning tack vare harmonisering vid olika hastighetsgränser*

Hastighetsgräns	Reduktion fördröjning
70	1,0%
80	1,5%
90	3,0%
100	6,0%
110	10,0%
120	15,0%

Fördröjningen innebär extra restid för trafikanten under rusningstid då längre restid då och då förekommer, men inte är helt oväntad. Värderingen för *trängseltid* (ej förseningstid) är därför relevant. Med ledning av värderingen kan *delsumma framkomlighet* beräknas.

Anmärkning: I Effektsamband har förenklat angivits att variabel hastighet ger 5% ökad kapacitet. I verkligheten ökar inte kapaciteten mer än marginellt, däremot minskar risken för sammanbrott. Jämför t.ex. resonemang i Kerner (2013). Metoden med ökad kapacitet riskerar därför att underskatta effekterna av överbelastningar.

5.4.3 Miljö

Bränsleförbrukningen blir något lägre i tät trafik när fordonshastigheten minskar jämfört med frifordonshastigheten. *Förbrukningen* hämtas från fliken ”Miljö”.

Bränsleförbrukningen blir något lägre vid köer efter kapacitetssammanbrott jämfört med kökörning efter olyckor. Hastigheten vid köavveckling antas till 50 km/h mot 40 km/h vid olyckor. *Förbrukningen* hämtas från fliken ”Miljö”.

Effekten av VH/harmonisering antas vara att andel kökörning i rusningstrafik kan reduceras. Reduktionen uppskattas till 20% vid VH 100 km/h.

Tabell 5.3 Minskad bränsleförbrukning tack vare harmonisering vid olika hastighetsgränser

Hastighetsgräns	Reduktion kökörning
70	5,0%
80	10,0%
90	15,0%
100	20,0%
110	25,0%
120	30,0%

Se vidare Avsnitt 8.3. Med ledning av detta beräknas *minskad bränsleförbrukning tack vare VH/harmonisering*.

Koldioxidinnehållet i bränslet antas uppgå till 2,36 kg/liter för personbilar och 2,54 kg/liter för lastbilar. Därigenom kan *minskat koldioxidutsläpp* beräknas.

Den negativa effekten av koldioxidemissioner uppskattas till 1,14 kr/kg per kg CO₂. Med ledning av värderingen kan *delsumma miljö* beräknas.

5.4.4 Kostnader

För VH/harmonisering tillkommer endast kostnader för att visa andra hastighetsmeddelanden och intrimning av styralgorithm.

Schablonvärde för *uppgradering av MCS med VH/harmonisering* hämtas från flik ”Investering & drift. Även schablon för driftkostnader hämtas från flik ”Investering & drift.

5.5 Egna indata

Beräkningsarket utgår från schablonvärden på hastighet och olyckskvot för typvägar, förekomsten av tät trafik och incidenter. I de fall då egna mer representativa mätvärden finns kan dessa tillämpas för känslighetsanalyser.

5.5.1 Olycksrisk

Olycksstatistik kan hämtas från STRADA, Swedish Traffic Accident Data Acquisition. Till detta informationssystem rapporterar polisen trafikolyckor med personsador. Känslighetsanalys kan genomföras för att studera effekterna av olika olycksutfall, men i normalfallet används standardvärden.

5.5.2 Frifordons hastighet

Om det finns aktuella hastighetsmätningar kan dessa användas för att ange frifordons hastigheten vid låg belastningsgrad.

5.5.3 Fördröjning pga incidenter

Beräkningarna bygger på 27% allvarliga incidenter. Kartläggning av incidenter på aktuell sträcka kan göras genom bl.a. TRISS och Vägvak. Är andelen allvarliga incidenter större kan antal olyckor och extra restid pga incidenter ändras efter egen utredning i en känslighetsanalys.

5.5.4 Andel tät trafik

Andelen har antagits överensstämma med andelen trafikarbete med belastningsgrad över 0,7. Beräkningarna bygger på trafikflödets fördelning på timmar enligt rangkurvan för närtrafik. Finns omfattande trafikräkningar kan andelen tät trafik skattas från dessa.

5.5.5 Kostnader

Schablon för kostnader för infrastruktur, kommunikationsutrustning och drift härrör sig från en sammanställning som gjordes i kapacitetsutredningen (TRV/Movea, 2011) samt kostnader för VH/harmonisering för Södertäljevägen (Movea, 2015). Kostnaderna har justerats till 2014 års prisnivå. Finns egen mer detaljerad kostnadsberäkning bör denna givetvis användas.

6 Effekter av kövarning/rekommenderad hastighet

Här görs en översikt över erfarenheter, tillämpning och förväntade effekter när det gäller kövarning/rekommenderad hastighet. I avsnitt 6.3 redovisas avslutningsvis de antaganden som faktiskt används i Excelkalkylen (kap 5).

6.1 Erfarenheter

System för varning för hastighetsfall vid köslut, olyckor eller annan omedelbar fara installeras vanligen på högtrafikerad motorväg där besvärliga väder- och väglagsförhållanden eller kraftiga och plötsliga hastighetsfall förekommer. Varningsfunktionen ska främst ses som en trafiksäkerhetsåtgärd. Det primära är att uppnå förarnas förståelse av aktuell situation nedströms och därmed lägga grund för att de närmar sig faran med höjd uppmärksamhet.

I **Tyskland** kompletteras hastighetsrekommendationerna på en stor del av vägnätet med varningssystem, som består av ett omställbart varningsvägmärke på varsin sida om vägen. I nyare installationer har varningsvägmärket placerats på portalerna mellan de variabla hastighetsvägmärkena. Vägmärket kan visa kö (STAU), vägarbete, omkörningsförbud för lastbilar etc.



Figur 6.1 Portal i Tyskland med variabla hastighetsvägmärken och varningsmärken (fara för kö)

Lägre hastighetsgränser (80 och 60 km/h) används i samband med varning för kö eller annan fara. Portalerna placeras normalt med 1 km avstånd från varandra. Varningen börjar 3-4 portaler före platsen för incidenten.

Kövarningssystem finns på praktiskt taget hela motorvägsnätet (normal hastighetsgräns 120 km/h) i **Holland**. Vid plötsliga köer uppmärksammas förarna genom blinkande lampor och variabla hastighetsgränser med sänkning till 90, 70 eller till 50 km/h. Oftast finns inget kövarningsmärke. Alla nyinstallationer förses med hastighetsbegränsningsmärke med röd ring. Äldre system kan fortfarande visa högsta hastighetsgräns utan röd ring men efter en lagändring är innebörden föreskriven hastighetsgräns.



Figur 6.2 Kövarning på A13 i Holland

Utvärderingar mellan 1983 och 1996 visar en ökning av genomströmningen med 4-5% i rusningstid och en minskning av sekundärolyckorna med 40-50%. Resultatet avser kombinationen av hastighetsharmonisering och kövarning. Allvarligheten i chockvågor och hastigheten i alla körfält har reducerats genom systemen.

Svenska erfarenheter finns från Stockholm och Göteborg. Erfarenheterna från Stockholm indikerar att trafikanterna blir mer aktiva med rekommenderade hastigheter, men att hastigheterna inte följs och att bromssträckan blir kortare. Erfarenheterna från Göteborg är att kövarningssymbol gör att inbromsningsförloppet blir lugnare och bromssträckan förlängs. Slutsatsen är att MCS-system för att vara effektivast bör bestå av både föreskrivna hastighetsgränser och kövarningssymbol.



Figur 6.3 MCS på E4 vid Frösundavik i Stockholm (Foto: Peter Kronborg)

Erfarenheterna från kövarning med rekommenderade hastigheter i Stockholm är blandade. Senare års studier pekar på att körbeteendet blir mer aktivt i kösituationer. I det mellersta och högra körfältet försöker trafikanterna uppnå den rekommenderade hastigheten och höjer därför hastigheten. I det vänstra upplevs det som kövarning och hastigheten sänks. Resultatet är minskad hastighetspridning. Genomsnittlig tidlucka minskar i höger körfält och tidluckevariationen minskar i vänster körfält när MCS är aktivt. Den övervägande positiva effekten stöds av att andelen upphinnandeolyckor av samtliga olyckor på Södertäljevägens norra del reducerats med omkring en tredjedel efter införande av MCS och breddning från tre till fyra körfält.



Figur 6.4 Motorvägsregleringssystem på E6 vid Mölndal

Ett enklare kövarningssystem finns på E6 mellan Bäckebo och Ringö norr om Tingstadstunneln där trafikanterna varnas enbart med omställbara kövarningsmärken.

Antalet upphinnandeolyckor med personskadeföljd på sträckan E6, Bäckebo - Ringö, sydlig riktning, har minskat. Minskningen kan i tiden kopplas till de åtgärder som samtidigt gjordes på E6:an i syfte att förbättra framkomlighet och trafiksäkerheten 2001. Antalet upphinnandeolyckor har på kövarningssträckan minskat med över 50%. Hur stor del av minskningen som skall tillskrivas kövarningssystemet och hur stor del som skall tillskrivas breddningen är vanskligt att uttala sig om.

Trots problem att särskilja effekterna av kövarningssystemet från tillkomsten av ett extra körfält söder om Tingstadstunneln finns starka indikationer om att upphinnandeolyckorna har minskat kraftigt tack vare kövarningsmärket och inbromsningsförloppet har blivit lugnare. Mätningarna antyder också att trängseltiden har minskat och minsta hastighet under maxtimme har ökat.

Med relevanta **halkvarningar** kan trafikanternas väntas sänka sina hastigheter. I VH-projektet har uppmätts 14-20 km/h lägre hastigheter vid svår ishalka (tunn is och rimfrost) än den spontana anpassning till väglaget som trafikanterna självmant gör. Jämförelse mellan fyra år före och fyra år efter införande av VH i Halland visar att totala antalet olyckor har minskat med 20% och antalet svårt skadade med mer än 40%. Under samma period har antalet olyckor i Sverige ökat med 5% medan antalet svårt skadade minskat med 14%.

6.2 Tillämpning

I Sverige har vi främst använt hastighetsinformation för kövarning, som i enstaka fall kompletterats med varningsmärken. I vissa länder anser man varningsmärkena är viktigast

och hastighetsinformationen ett komplement. Erfarenheten visar att hastighetsinformation och varningsmärken **förstärker** varandra. Bra exempel finns när det gäller väderstyrda VH-system i Finland, där den totala hastighetssänkningen vid halkvarningar och sänkt hastighet ger större effekt än summan av varningar och hastighetssänkningar var för sig.

Regleringsprincip

Varningar utformas så att trafikanten uppnår både förståelse för trafiksituationen nedströms och förstärks genom hastighetsbegränsningar vid behov. Det innebär att det inte räcker med att få ned hastigheten in mot en händelse eller uppstådd trafiksituation. Det är ännu viktigare att uppnå förarnas förståelse för den aktuella situationen nedströms, så att de själva kan dra egna slutsatser och närma sig platsen för händelsen på lämpligt sätt. Fördelen är att förarens egen körskicklighet och bedömningsförmåga tas till vara. Varningsmärket kompletterar därmed vägmärket med nedsatt hastighetsgräns då ingångshastigheten är hög. På väg med lägre högsta tillåten hastighetsgräns och som inte har MCS-system är det tillräckligt att endast visa varningsbudskapet, som exempelvis kövarningsmärke. Som alternativ till kövarningsmärket kan rekommenderad hastighet visas på stadsmotorväg (enligt nedan).

- Vid omedelbar fara tillämpas varning med varningsmärke kompletterat med nedsättning av hastighetsgräns.
- På vägar med skyltad hastighetsgräns högst 70 km/h skall i första hand varningsmärke användas.
- På stadsmotorväg med motorvägsregleringssystem (MCS) kan alternativt rekommenderad högsta hastighet användas. Även högsta tillåten hastighetsgräns 60 km/h kan användas i kombination med kövarningsmärke.
- På väg med skyltad hastighetsgräns >70 km/h bör varningsmärke kompletteras med nedsättning av hastighet till 60 km/h in mot platsen för faran.

Utformning

På 2+2-fältig motorväg kan hastighetsbegränsningsskyltar och varningsmärken placeras på sidomonterade stolpar, om inte tillfälligt vägrensutnyttjande tillämpas. Annars används portaler. Se *Figur 6.7-6.12*. Symbol bör visas vid svåra trafikförhållanden. Nya system **ska** utformas så att denna utmärkning möjliggörs. Symbolen för annan fara bör kompletteras med förklarande tilläggstext om orsak t.ex. översvämning enligt exempel nedan.

- Kövarningsmärke bör alltid finnas. För att öka förståelsen hos förarna bör också möjlighet finnas att varna för vägarbete och olycka. På väderkänsliga avsnitt bör det även finnas möjlighet att varna för halka, vind och dimma. För händelser som inträffar minst tio dagar per år bör särskilda varningsmärken finnas.



*) Märket anger att vägen kan vara slirig. Om det finns särskilda skäl kan märket användas för att varna för halka på grund av snö eller is.

Figur 6.5 Exempel på varningsmärken

Vid händelse där inget lämpligt vägmärke finns, används vägmärket "Annan fara". Detta kräver dock tilläggstext under vägmärket där farans art anges.

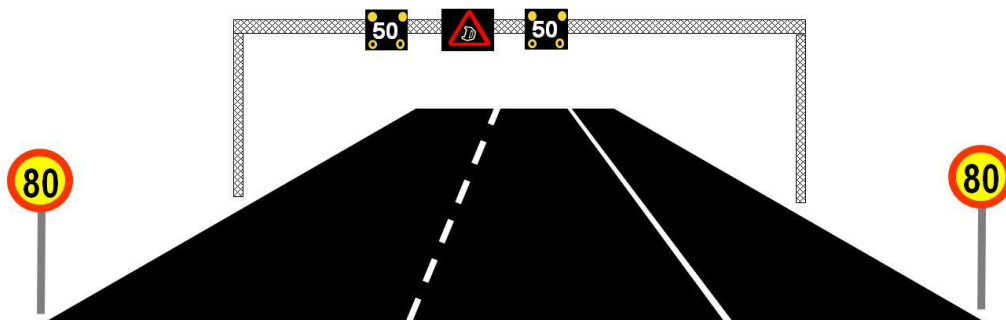


Figur 6.6 Bild på annan fara med tilläggstext

Nedan visas exempel på utformning av varning för fara på motorväg utan och med portal.



Figur 6.7 På motorväg med normal hastighetsgräns 70 km/h eller lägre är det tillräckligt med varningsmärke för att varna för fara.



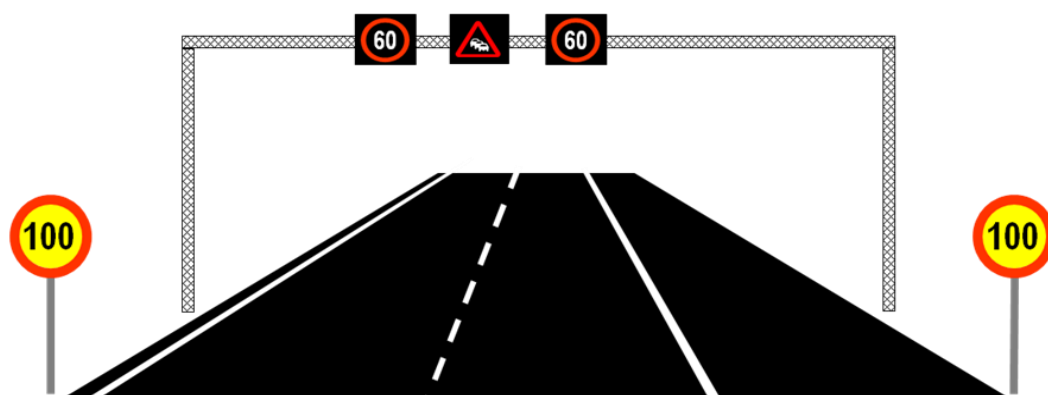
Figur 6.8 På stadsmotorväg med MCS kan rekommenderad hastighet användas som varning ev förstärkt med varningsmärke



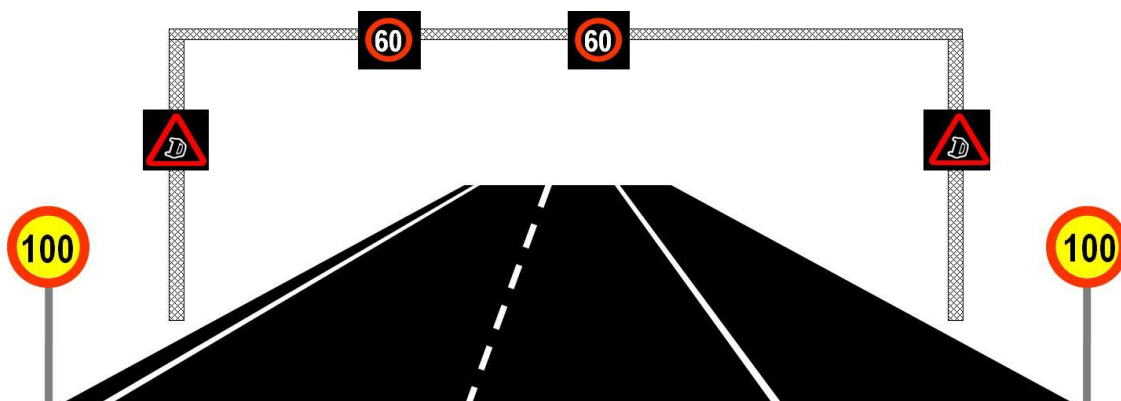
Figur 6.9 Dynamisk varning för olycka på väg med ett eller två körfält per riktning och skyltad hastighetsgräns under 70 km/h



Figur 6.10 Dynamisk varning och sänkt variabel hastighetsgräns på motorväg utan portal och med hastighetsgräns 80 km/h eller högre



Figur 6.11 Dynamisk varning på MV4 (4-fältig motorväg) med varningsmärke på portalens överliggare



Figur 6.12 Hastighetsnedsättning och dynamisk varning på 2+2-väg med varningsmärken på portalben

Avstånd till första varningssnitt

På vägar med hög standard och hög tillåten hastighet (90-120 km/h) bör avståndet mellan händelse och första varningssnitt i ett dynamiskt kövarningssystem vara 1000-1500 m.

- På vägar med lägre tillåten hastighet (70-80 km/h) bör avståndet mellan händelse och första varningssnitt ligga i området 500-1000 m. Varningsmärke bör placeras där det har god synbarhet mht till linjeföring.
- Vid behov av nedsättning av hastighet med mer än 30 km/h bör nedsättningen ske i flera steg. Avståndet mellan regleringssnitten bör anpassas till normalt avstånd mellan hastighetsgränsskyltarna på sträckningen. Synbarhetskrav regleras i VVFS 2007:305.

- Vid behov av varning för återkommande kö bör detektorer placeras på avsnitt där stora hastighetsfall förekommer.

Exempel på aktiveringsstrategi

Varning för trafikrelaterade problem:

- Varning för kö aktiveras automatiskt med utgångspunkt från trafikförhållanden i realtid. Även andra varningar såsom för stark vind, halka och broöppning kan aktiveras automatiskt.
- Varning som för olycka och vägarbete aktiveras normalt genom trafikledningscentral.
- Vid tilltagande kö aktiveras steg 2 i hastighetssänkningen efter en inledande sänkning av homogeniseringsskäl. Denna sänkning sker automatiskt baserat på när satta kriterier är uppfyllda. Kriterierna kan bygga på en eller flera parametrar, främst hastighet (se exempel nedan).
- Vid inträffad händelse aktiveras motorvägsregleringssystemet av vägtrafikledare. Systemet sänker stegvis så att 80 km/h eller 60 km/h visas strax före hindret.
- Varningsmärke bör finnas på motorvägsreglerad sträcka, som aktiveras automatiskt för kö, i övrigt med lämplig symbol i samband med att vägtrafikledare drar igång åtgärdsplan. Avsikten med varningsmärket att få trafikanterna mer uppmärksamma och att öka trafikanternas förståelse för anledningen till hastighetssänkningen.
- Principen för hastighetsnedsättning bör vara sådan att ett likartat inbromsningsförlopp eftersträvas oavsett vägens hastighetsgräns.

Tabell 6.1 Exempel till grundläggande aktiverings/avaktiveringskriterier för hastighetssänkning vid varning för hinder och kö. Värdena kan variera mht lokala förhållanden, krav på hysteres³ (fördröjning, minsta aktiveringstid) etc

Objekt	Hastighetsgräns med VH	Kriterier (v=hastighet, q=flöde)
Motorväg i hög-hastighetsmiljö	 120 (fast) ^{*)} 100 (fast, om ej 120) 80 ^{**)} 60 120/100 (fast)	(mellansteg om 120 km/h tillämpas) (mellansteg) v < 45 km/h v > 55 km/h
Stadsmotorväg	 80 (fast) 60 (40) 80 (fast)	v < 45 km/h (manuell aktivering) v > 55 km/h

^{*)}på väg som uppfyller krav för 120 km/h (bl a låg trafikbelastning och liten miljöpåverkan)

6.3 Förväntade effekter

Effektbedömningen i kalkylarket utgår från att systemet utformas i enlighet med ovanstående tillämpning och bygger på följande antaganden:

- Andel sekundärolyckor uppskattas till 15%.
- Ökad olycksrisk uppskattas till 3 ggr högre i köerna efter olyckor.
- Konsekvens av sekundärolyckor uppskattas minska med 10-50% (jfr Tabell 6.2)

³Hysteres (betyder att komma efter), fysikaliskt fenomen där effekten av en applicerad kraft eller fält inte endast beror på kraftens momentana värde. Vanligtvis används ordet för cykliska förlopp.

- En liten hastighetsökning om 0,5 km/h uppstår även när MCS ej är aktivt
- Frekvensen allvarliga incidenter på statliga vägnätet uppgår till 0,872 per miljon fkm enligt *Tabell 6.3*
- Köhastigheten antas ligga på 40 km/h i samband med olyckor och allvarliga incidenter

Enligt en amerikansk studie (Raub, 1997) uppgår andelen sekundärolyckor till 15% på motorvägar. Eftersom 15% olyckor inträffar under 5% av tiden kan man säga att olycksrisken är ca tre gånger högre än normalt. Det skulle också betyda att säkerhetseffekten av kövarningssystem uppgår till ca 6-8%. Grovt sett kan man därför säga att homogeniserings- och kövarningsfunktionerna i MCS ger ungefär lika stora bidrag till trafiksäkerheten.

Effekten av kövarning beror på hur ofta systemet är aktivt. Vanligtvis ligger andelen av trafikarbetet (TA) i storleksordningen 5%. Holländska studier visar en minskning av sekundära olyckor med 40-50% (Middelham, 2008). Studierna visar också att den förhöjda risken kvarstår under ca tjugo minuter. Därefter har ankommande trafik anpassat sig och inbromsningar sker mjukare.

Effekterna av olika förändringar av fordonshastigheterna uppskattas av Lind & Strömgren (2011) med ledning av potensmodellen för relativa hastigheter. Hypotesen är att den första lysande variabla hastighetsskylten sannolikt har större betydelse för trafikanternas beteende och reaktionstid än storleken på förändringen. Vidare antas att ankomsthastigheten är avgörande och att potensmodellen därför kan användas.

Tabell 6.2 Trolig minskning av sekundärolyckor med kövarning för olika hastighetsgränser

Hastighetsgränsförändring	Säkerhetseffekt (aktivt system)	Resulterande effekt vid 15% sekundärolyckor
120 km/h → 80, 60 km/h	50% * sekundärolyckor	8%
110 km/h → 70, 50 km/h	38%	6%
100 km/h → 60, 40 km/h	28%	4%
90 km/h → 50, 40 km/h	20%	3%
80 km/h → 40 km/h	12%	2%

Andelen sekundärolyckor kan enligt tabellen uppskattas minska med upp till 50% när systemet är aktivt (främst i samband med olyckor, haverier och underhållsarbeten).

Erfarenheten från E4 Södertäljevägen är att en liten ökning av hastigheten uppstår när kövarningssystemet är passivt. Detta kan tillskrivas det omvända signalvärdet av "vägen är fri". Vi antar därför att hastigheten ökar 0,5 km/h vid passivt system både i hög- och lågtrafik.

Försök har gjort bl.a. i Movea (2011) att skatta förekomsten av olika händelser med ledning av statistik från trafikverket, olika utredningar och egna antaganden. Se *Tabell 6.3*. Kategorierna v1-v3 antas främst vara aktuella för trafikledningsinsatser med bl.a. kövarning. Frekvensen av händelser (antal per Mfkm) har i brist på bättre underlag antagits fördelat lika på såväl motorvägar som det övriga statliga vägnätet.

Tabell 6.3 Skattning av faktisk förekomst av olika typer av händelser på det statliga vägnätet

Kartläggning av förekomst av händelser på statliga vägnätet (Movea, 2011)						
Händelsetyp	Fördelning enligt äldre studie från 1978	Antal objekt i Triss per år	Skattad andel av faktisk frekvens	Gissning antal händelser från andra källor	Kategori	Andel
Olycka, mycket stor påverkan	2%	623	95%	2020	v1	1%
Olycka, stor, bör vara mkt stor		1300			v1	0%
Olycka, stor påverkan	3%	7562	20%	37800	v2,v3	21%
Övr olycka (liten/ingen påverkan)	39%	1821	5%	36400	v5	20%
Vägarbete mkt trafikstörande	1%	817	20%	4090	v3	2%
Övr vägarbete, inkl fel skyltn.	3%	10762	60%	17900	v5	10%
Djur på vägen	1%	7469	50%	14900	v5	8%
Fordonshaveri	34%	11068	40%	27700	v4	15%
Föremål på väg (träd, last mm)	1%	3244	90%	3600	v4	2%
Tillfälliga begränsningar	4%	2400	75%	3200	v4	2%
Bärgning	0%	543	40%	1360	v3	1%
Vägskada, fel på trafikanordn	5%	512	40%	1280	v5	1%
Kö/stillastående trafik	1%	1576	45%	3500	v2	2%
Brand	1%	139	90%	150	v4	0%
Evenemang, kortege	0%	73	50%	150	v3	0%
Status händelse, konsekvenser mm	0%	500	10%	5000	v5	3%
Väder, väglag	2%	232	20%	1150	v5	1%
Övrigt blandat	4%	1876	10%	18800	v4	11%
Summa		52517		179000		100%
Allvarliga incidenter	kategori v1-v3			48920		
Trafikarbete, Mfkm	statliga vägnätet			56077		
Incidenter per Mfkm				0,872		

Kö hastigheten antas vara ca 40 km/h, vanligtvis långsamtgående trafik. Detta används som utgångspunkt för att beräkna bränsleförbrukningen.

7 Effekter av körfältsavstängning

7.1 Erfarenheter

Körfältssignaler kan användas för avstängning av körfält. Körfältssignaler installeras på högtrafikerad motorväg där ökad risk föreligger vid underhållsarbete och räddningsinsatser. Olika principer tillämpas för att sänka hastighetsgränsen och att varna för orsaken till stängningen.

Motorvägsnätet i **Tyskland** liksom i flera andra länder i central- och Sydeuropa har efter hand försetts med trafikledningssystem. Avstängning av körfält sker enligt internationell praxis med hjälp av körfältssignaler som vid behov kompletteras med avstängningsutrustning vid planerade avstängningar. Trafikanterna förvarnas med snedställd pil om att man skall byta körfält och rött kryss markerar att körfältet är stängt.



Figur 7.1 Hastighetsnedsättning, körfältsavstängning och varning för vägarbete i Hessen, Tyskland

I **Köpenhamn** har motorvägsringen M3 byggts ut till sex körfält. I samband därmed byggdes trafikledningssystemet i Köpenhamnsområdet ut.



Figur 7.2 Utmärkning av avstängt körfält på M3 i Köpenhamn (Foto från utbyggnadsskedet)

Systemet innehåller VMS, variabel hastighet, videokameror, nödtelefon, datainsamling (ersätter TRIM) och restidsmätning (även för alternativvägar).

En användarundersökning bland pendlare visade att 58% anser att VH får trafiken att flyta bättre, medan 12% tycker att det flyter sämre. 33% känner sig tryggare med VH. 82% förstår att hastighetsutmärkningen (med röd ring) innebär ett förbud att köra fortare. När det gäller stängt körfält (rött kryss) förstår hela 96% detta, men man är osäker varifrån avstängningen gäller. 54% menar korrekt att körfältet är stängt (inte får användas) fr.o.m. tavlans placering, medan 43% felaktigt tror att tavlan varnar för körfältsavstängning längre fram.

7.2 Tillämpning

Kombinationsalternativet med pilar och kryss i kombination med sänkta hastighetsgränser utgör huvudprincip. Därigenom kan antalet skyltar begränsas. Pilar och kryss används för att stänga körfält. Gröna pilar när hastighetsbegränsningen är oförändrad. Hastighetsgränser anges så fort förändringar sker.

Regleringsprincip

- Körfältsavstängning och sänkt hastighet är nödvändig vid olycka, vägarbete, fordonshaveri m.m.
- Som huvudprincip i körfältssignaler används grön pil, gul snedställd pil och rött kryss. Detta motsvarar förekommande praxis i Sverige idag och är i överensstämmelse med skyltföreskrift för omställbara vägmärken.

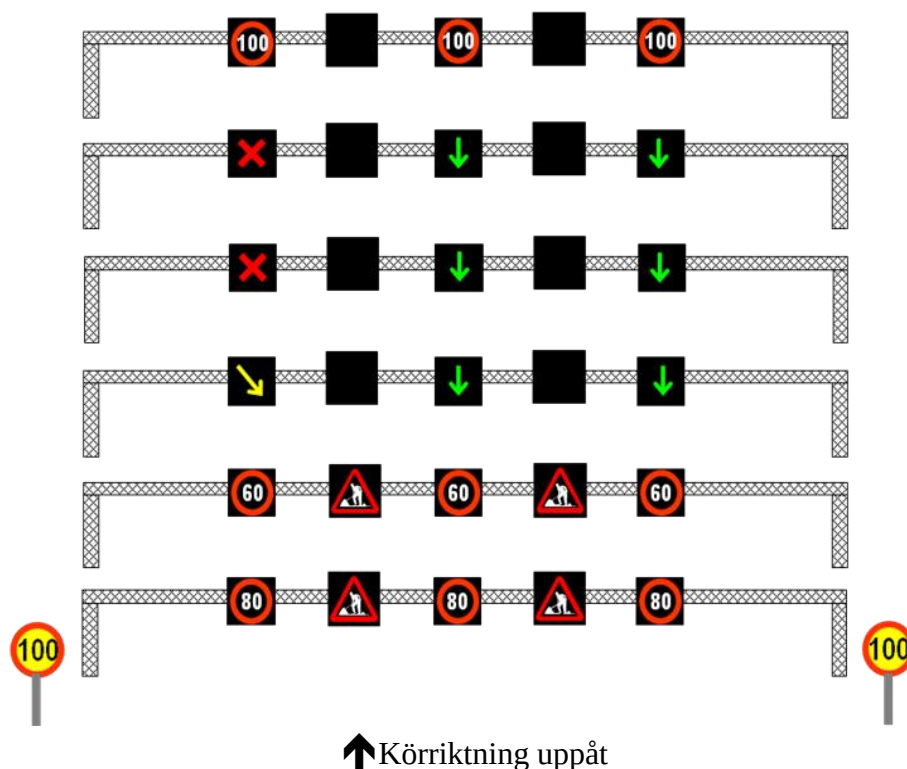


Figur 7.3 Rekommenderade symboler för körfältsavstängning och -öppning

- Normalt ska körfältssignalerna vara släckta. Även hastighetsutmärkningen ska normalt vara släckt såvida den inte också utgör en del i ett större kövarningssystem på sträckan.
- Stängning av körfält anges genom hastighetsbegränsning, gula snedpilar och rött kryss över aktuellt körfält uppströms sträckan med stängt körfält.
- Öppet körfält i samma snitt som stängt körfält anges med grön pil. Om hastighetsgränsen ändras t.ex. vid kövarning anges variabel hastighetsgräns istället för grön pil.
- Grön pil ska användas när *reversibla körfält* förekommer. Det är inte tillåtet att använda hastighetsbegränsning som ersättning för grön pil i detta fall. Den gröna pilen skall upprepas så länge körfältsreverseringen gäller som en tydlig, positiv bekräftelse på att körfältet kan användas i korriktningen.
- Öppning av körfält (upphävd stängning) anges med tillåten hastighet över det aktuella körfältet i första regleringssnitt nedströms sträckan med stängt körfält.

Hastighetsbegränsningen sänks genom en successiv nedtrappning uppströms om snedpilen. Tillåten hastighet bör vara 40-60 km/h vid aktiverade körfältssignaler (gul snedpil, rött kryss). Utmärkningen inleds med att sänkt hastighetsbudskap till den lägsta nivå som skall gälla förbi det avstängda körfältet. I påföljande portal visas körfältssignaler med gul snedpil över

det körfält som skall stängas och grön pil över öppna, angränsande körfält. I portalen vid (före) avstängningen stängs körfältet med rött kryss. Grön pil visas över öppna körfält. Efter det avstängda körfältet visas den hastighetsgräns som gäller på sträckan med hänsyn till förhållanden i övrigt (trafik, väder etc).



Figur 7.4 Sekvens vid avstängning av körfält pga. underhållsarbete

Nedsättning av fart vid körfältsavstängning ska som huvudregel ske genom föreskrivna hastighetsgränser för att skydda vägarbetare och trafikanter på vägen. Rekommenderade hastigheter kan tillämpas på stadsmotorvägar.

Kompletterande regler

- Om körfältsskyltarnas budskapsyta inte kan visa hastighetsbudskap bör omställbara hastighetsvägmärken placeras före sträcka med körfältssignaler.
- Differentierad reglering av fart i samband med körfältsavstängning kan användas på motorvägar med tre fält eller fler per riktning. Skillnaden mellan angränsande körfält får dock inte överstiga 20 km/h. Hastighetsgränsen närmast det avstängda körfältet ska vara 60-80 km/h. Om människor befinner sig i det avstängda körfältet ska lägre hastighetsgräns användas.

Utformning

Vid avstängning av körfält genom manuell aktivering, utlöst av en händelse eller underhåll/vägarbete, kan stegen i avstängningsprocessen presenteras av ett beslutsstöd för trafikledaren, för att därefter kvitteras. I nedanstående figur visas olika möjligheter att stänga körfält med användning av körfältssignaler och föreskrivna respektive rekommenderade hastighetsbudskap.

Hastighetsgräns 80 km/h		
Föreskriven 60-aktivering med grön pil	Föreskriven 60-aktivering med hastighetsgräns	Rekommenderad 40-aktivering

Figur 7.5 Princip för stängning av körfält med föreskrivna respektive rekommenderade hastigheter och alternativ utmärkning med grön pil respektive tillåten hastighetsgräns

Avstånd till första regleringssnitt

Avståndet mellan portaler med körfältssignaler bör enligt VGU Omställbara vägmärken vara enligt nedanstående tabell där avstånd vid god standard skall eftersträvas. Låg standard är minimiavstånd.

HÖGSTA TILLÅTEN HASTIGHET	AVSTÅND VID GOD STANDARD		AVSTÅND VID LÅG STANDARD	
	VÄG UTANFÖR TUNNEL	TUNNEL	VÄG UTANFÖR TUNNEL	TUNNEL
≥ 100 km/h	700 m	350 m	325 m	235 m
80 – 90 km/h	600 m	300 m	275 m	165 m
60 – 70 km/h	500 m	250 m	225 m	110 m
≤ 50 km/h	400 m	200 m	155 m	70 m

Exempel på aktiveringsstrategi

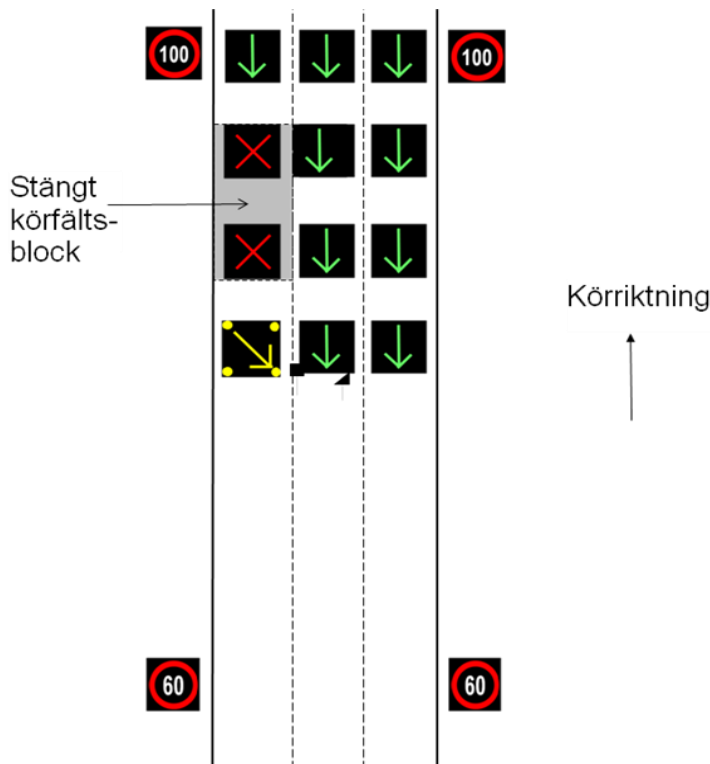
- Körfältsstängning förutsätts som huvudregel ske kontrollerat genom trafikledningscentral. Verkställandet av regleringen bör ske genom aktivering av förprogrammerad signalplan. Detta säkerställer att körfältsstängningen alltid genomförs efter samma grundläggande principer. Dessa innebär sekventiell öppning och stängning som beaktar beräknad tidsfördröjning mellan portaler och identisk signalgivning oavsett vem som aktiverar regleringen.

- Vid förekomst av vägarbetare eller trafikanter på vägen bör ännu lägre hastighetsgränser användas. ”Regler för säkerhet vid vägarbete och transporter” ger anvisningar om hastighetsnedsättning vid vägarbeten.

Följande signaleringsregler för aktivering av körfältsavstängning på flerfältiga vägar framgår av *VGU Omställbara vägmärken*. Med ett körfältsblock avses den sträcka av ett körfält som ligger mellan två på varandra följande körfältssignaler.

- Avstängt körfältsblock ska ha ett rött kryss både vid blockets början och slut.
- Rött kryss får inte visas i den sista uppsättningen av körfältssignaler eftersom det då inte finns något avslut på körfältsavstängningen.
- Snedpil ska visas uppströms om rött kryss.
- Snedpil ska peka mot öppet körfält.
- Snedpilar som pekar åt samma håll får inte förekomma invid varandra i samma sektion.
- Snedpilar som pekar mot varandra får inte förekomma i samma sektion såvida det inte finns minst två öppna körfält mellan snedpilarna.
- Grön nedåtriktad pil ska visas i de öppna körfälten på sträckan förbi snedpilar och röda kryss. Alternativt kan hastighetsgränser visas
- Gul växelblink ska, om sådan finns, vara aktiverad på samtliga körfältssignaler som visar snedpil.

Signalbilderna tänds upp successivt i färdriktningen sektion för sektion. Normalt bör högsta tillåten hastighet sänkas när körfältsavstängning sker. För att markera att alla körfält är öppna efter det sista röda krysset kan grön nedåtriktad pil eller hastighetsgräns visas i samtliga körfält.



Figur 7.6 Avstängning av körfältsblock

När avstängning sker av körfältsblock belägna bredvid varandra genomförs avstängningen i steg innebärande att ett körfält åt gången stängs. Signalbilderna i varje steg aktiveras

successivt i färdriktningen. Enligt signaleringsreglerna kommer det vänstra körfältet att vara avstängt på en längre sträcka än det mellersta körfältet.

7.3 Förväntade effekter

Effektbedömningen i kalkylarket utgår från att systemet utformas i enlighet med ovanstående tillämpning. Det har inte gått att hitta utvärderingar som kan separera körfältsavstängningar från kövarning med rekommenderad hastighet. Effekterna av körfältsavstängning har därför inte kunnat separeras i kalkylarket utan ingår som en del i effekterna av kövarning / rekommenderad hastighet.

- Körfältssignaler ökar säkerheten vid underhållsarbeten
- Lugnare väjningsmanövrar leder till färre sekundärolyckor
- Kapaciteten ökar genom att vävning sker på längre sträcka
- Framkomlighetsvinster genom större möjlighet att upprätthålla begränsad kapacitet vid räddningsinsatser

Storleken på effekterna är oklara. En erfarenhet är att det behövs återkommande information för att trafikanterna helt ska förstå innebörden av kryss och pilar. Oftast ingår variabla hastighetsgränser, kövarningssystem, VMS och körfältssignaler i sammansatta MCS-system.

Kapaciteten minskar vid underhåll eller olyckor med ca 50% på en 3+3-fältig motorväg när ett körfält blockeras. Med körfältssignaler, som leder till smidigare körfältsbyten, kan denna reduktion troligen begränsas till 40-45%.

Enligt amerikanska erfarenheter kan man vänta sig dubbelt så hög risk helt utan trafikledningssystem under byggnadstiden och i bästa fall 30-40% ökad risk med ett avancerat trafikledningssystem (Lind och Strömgren, 2011b). På E4 Södertäljevägen var ökningen som mest 60% i slutet av 2010, vilket indikerar att informationen och trafikledningen vid vägarbetet och inte heller trafikanordningsplanen varit optimal.

En riskminskning från 200% till 140% vid vägarbeten innebär att effekten av trafikledningssystemet ca 30%. Effekten på säkerhet vid underhåll och olyckor är troligen större. Tillsammans med kövarningssystem bedöms körfältssignaler leda till minskning av antalet sekundärolyckor med 40-50% när båda systemen är aktiva. Riskminskningen som anges i *Tabell 6.2* avser således både effekter av kövarning/rekommenderad hastighet och användning av körfältssignaler i samband med väg- och underhållsarbeten.

8 Effekter av variabel hastighet/harmonisering

Här görs en översikt över erfarenheter, tillämpning och förväntade effekter när det gäller variabel hastighet/harmonisering i tät trafik. I avsnitt 8.3 redovisas avslutningsvis de antaganden som faktiskt används i Excelkalkylen (kap 5).

8.1 Erfarenheter

Variabla föreskrivna hastighetsgränser tillämpas på högtrafikerade motorvägar främst med referenshastighet 100-120 km/h om trängsel med ökad risk för sammanbrott förekommer

under rusningstid. Trafikstyrd variabel hastighet är främst en framkomlighetsåtgärd, men har också inverkan på trafiksäkerhet och miljö. Det primära är generellt att uppnå lugnare trafik med mindre hastighetspridning och enhetligare tidsluckor.

Internationella erfarenheter visar att VH är mycket effektivt på motorvägar i höghastighetsmiljö med 110 eller 120 km/h som hastighetsgräns. Reglering genom VH ger ökad genomströmning, färre påkörningsolyckor och färre kapacitetssammanbrott. Det finns goda erfarenheter av att sänka hastighetsgränsen för att stabilisera flödet från flera länder.

I **Tyskland** sänks hastighetsgränsen, på sträckor med homogenisering, till 120 eller 100 km/h vid höga flöden. Jämfört med sträckor utan variabel hastighetsgräns har en ökad genomströmning på 5-10% kunnat uppmätas främst genom färre kapacitetssammanbrott.

Effekten syns även tydligt på svåra olyckor. När systemet infördes på A5 Bad Homburg-Frankfurt/West minskade lätta egendomsskador med 3%, men personskaadeolyckorna minskade med hela 30%. Effekten är störst när man går från fri fart till 120 km/h. Variabla hastighetsgränser under 80 km/h har inte gett några tydliga tilläggseffekter.

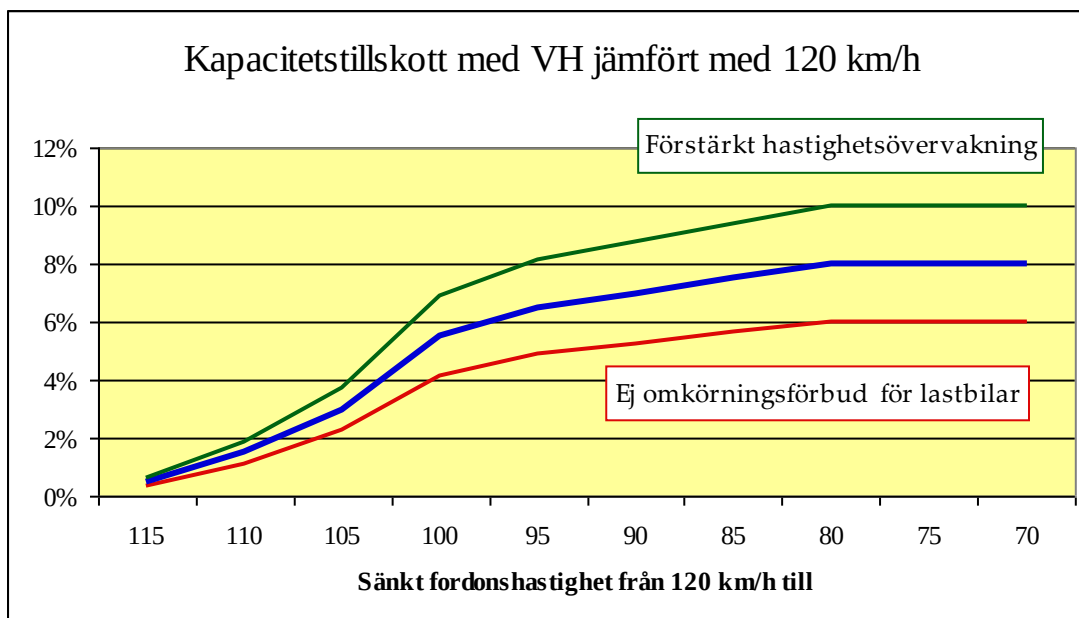
I **Holland** har hastighetshomogenisering tillämpats sedan länge med särskilt goda erfarenheter i samband med dimma. Metoden används även av miljöskäl då hastighetsgränsen sänks till 80 km/h under högtrafik. Sänkningen till 80 km/h har lett till 3-5% ökad genomströmning och 16% färre olyckor. Gränserna övervakas genom sträck-ATK, som gett mycket goda resultat.

Variabla föreskrivna hastigheter används i **England** på tre- eller flerfältiga motorvägar för att harmonisera trafiken och åstadkomma bättre genomströmning då denna tätar. Avsikten är också att öka restidspålitligheten. Med hjälp av styrsystemet MIDAS begränsas hastigheten till 96 eller 80 km/h (60 resp 50 mph) automatiskt.

I **Frankrike** finns flera trafikledningssystem. Ett exempel är motorvägen A7 mellan Valence och Orange i Sydfrankrike (75 000 till 110 000 f/dygn). Den normala hastighetsgränsen 130 km/h sänks i två steg till 90 km/h vid tät trafik och köer. Systemet är aktivt ca fyra timmar per dag. Utvärderingen, som gjordes 2004, visade flera intressanta resultat:

- Då systemet är aktivt visas 110 km/h under 75% av tiden och 90 km/h övrig tid
- Fordonshastigheterna minskar med 20-30 km/h i förhållande till normal hastighetsgräns 130 km/h då sänkt hastighetsgräns gäller
- 110 km/h respekterades av 80% av trafikanterna, 90 km/h av 50%
- Hastigheterna stabiliseras inom fem minuter
- Kapaciteten ökar med 3% och genomströmningen under rusningstrafiken (4 tim) med 10%
- Antal bilar i kö minskade med 16%
- Antal trafikolyckor minskade med 20%

Flera studier visar att omkörningsförbud för lastbilar i tät trafik och hastighetsövervakning har betydelse för kapaciteten. Det är vanskligt att exakt bedöma effekterna, men erfarenheterna av VH från Tyskland, England och Holland sammanfattas i *Figur 8.1*:



Figur 8.1 Samband mellan hastighetsgräns och kapacitetstillskott

Utan omkörningsförbud för lastbilar blir kapacitetsökningen ca 2% lägre (= totalt 6% vid 80 km/h). Med förstärkt hastighetsövervakning blir kapacitetsökningen ca 2% högre (= totalt 10% vid minskning från 120 till 80 km/h). Även fast hastighetsgräns har effekt på kapaciteten, men är då mindre än vid VH p.g.a. att hastighetsspridningen vanligtvis blir större.

Svenska erfarenheter avser motorvägar med lägre hastighetsgränser än i utlandet. Variabel hastighet har bl.a. införts på E4 Södertäljevägen. Vid ca 80% av kapacitetsgränsen sänks hastigheten från 100 km/h till 80 km/h (med röd ring). Tidigare utformning med två körfält (3,75 m bredd) och vägren (2,5 m bredd) per riktning har ersatts med tre körfält (3,5 m bredd) och varierande vägrensbredd. Dessutom har vägen försetts med kövarningssystem (rekommenderad hastighet), ny belysning samt nödfickor.

Harmoniseringen med variabel hastighet gav följande effekter.

- Max genomströmning har ökat med 10% under perioden då trafikledningssystemen installerats. Det är troligt att harmoniseringen bidragit med några procent till detta.
- Tendensen är att antalet överbelastningar minskar något, men att varaktigheten istället ökar. Totala effekten är dock positiv.
- Hastighetsspridningen inom varje körfält och totalt minskar i proportion till hastighetssänkningen på 7-10 km/h vid aktivering.
- Skillnaden i hastighet mellan körfälten bibehålls, men på en lägre nivå.
- Olyckorna har halverats sedan trafikledningssystemet tagits i bruk. Det är troligt att de variabla hastighetsgränserna är en bidragande orsak till detta utfall.

8.2 Tillämpning

Det är viktigt vid harmonisering av trafikflödet att hastighetsspridningen kan begränsas. Därför ska systemet utformas utifrån föreskriven hastighetsbegränsning.

Det avråds från rekommenderade hastigheter i system för harmonisering av hastighet. Placering av hastighetsinformation och kontrollfunktion har diskuterats ovan. Kompletterande åtgärder i form av information och kampanjer är nödvändiga. Övervakning tillgrips om målsättningen vad gäller begränsad hastighetsdispersion inte uppnås.

Regleringsprincip

- Nedsättning av fart för harmonisering av hastighet ska ske genom föreskrivna hastighetsgränser. Nedsättningen får högst uppgå till 20 km/h utan förvarningsskylt. Aktivering av nedsättningen bör ske vid omkring 80% av kapacitetsgränsen⁴
- För motorväg med två körfält per riktning rekommenderas sidoplacerade hastighetsgränsskyltar. Skyltarna placeras i normal höjd på bägge sidor om vägen.
- För motorväg med fyra körfält per riktning rekommenderas hastighetsutmärkning i körfältsskylt. För 3+3-fältiga motorvägar kan båda varianterna rekommenderas. Upphävning av reducerad hastighetsgräns görs genom att visa normalt tillåten hastighetsgräns.
- Vid manuell kontroll bör det finnas minst en trafik kontrollplats per 2000 m utefter den reglerade motorvägssträckan. Även om detta kan vara svårt att åstadkomma av kostnadsskäl och brist på utrymme så fyller kontrollplatserna en viktig funktion för att upprätthålla en hög efterlevnad.

Avstånd mellan regleringssnitt

Generella krav på upprepning av särskilda hastighetsbestämmelser bör tillämpas vid harmonisering av hastighet.

- På sträckor med enbart harmonisering av hastighet (ej kövarning) kan reglersnitten ligga glesare, förslagsvis på dubbla avståndet mot normalt. Det betyder 1600-2400 m vid tillåten hastighet 90-120 km/h. Regleringssnitten bör företrädesvis läggas efter varje påfart.

Exempel på aktiveringsstrategi

System för nedsättning eller harmonisering av hastighet kan aktiveras av trafikledare. I komplexa situationer är automatiska system dock tillförlitligare och ger också möjlighet till snabbare aktivering. Automatisk styrning är därför lämplig när data (fortlöpande) finns om trafikavvecklingskvalitet – flöden och hastigheter (fordonsdetektorer).

En utgångspunkt kan vara att sänka hastighetsgränsen från 100 km/h till 80 km/h vid 70-80% kapacitetsutnyttjande och återgå till normalläge enligt nedanstående tabell. Värdena bör dock trimmas in med beaktande av lokala förhållanden. Harmonisering är f.n. inte aktuellt på vägar med hastighetsgräns 120 km/h eftersom denna hastighetsgräns endast kan tillämpas på motorvägar med belastningsgrad < 0,4 på timnivå.

⁴80% motsvarar ett flöde på ca 3000 f/h per riktning på dubbelriktad fyrfältig motorväg, 4300 f/h på 3+3-fältig väg och 5400 f/h på 4+4-fältig väg.

Tabell 8.1 Kriterier för homogenisering

Vägtyp	Hastighetsgräns med VH	Hastighetsgräns med VH (befintliga vägar under övergångsskede)	Kriterier (v=hastighet, q=flöde)
2+2-fältig motorväg	↓ ↓ 100 (fast) 80 100 (fast)	↓ ↓ 110 (fast) 90 110 (fast)	q > 3000 f/h (250 f per 5 min) q < 2400 f/h (200 f per 5 min)
3+3-fältig motorväg	↓ ↓ 100 (fast) 80 100 (fast)	↓ ↓ 110 (fast) 90 110 (fast)	q > 4200 f/h (350 f per 5 min) q < 3600 f/h (300 f per 5 min)

8.3 Förväntade effekter

Effektbedömningen i kalkylarket utgår från att systemet utformas i enlighet med ovanstående tillämpning och bygger på följande antaganden:

- Systemet aktiveras vid mer än 70% kapacitetsutnyttjande ($v/c > 0,7$)
- Reducerad funktionalitet medför att harmonisering sker vid 75% av teoretiskt möjliga tillfällen
- Olycksrisk för personskadeolyckor antas oförändrad i rusningstrafik jämfört med hela dygnet
- Personskadeolyckor uppskattas minska 10-50% tack vare harmonisering (beror av hastighet)
- Minskad fördröjning uppskattas till 1-15% med VH/harmonisering beroende på hastighetsgräns.
- Köhastigheten antas ligga på 50 km/h i samband med överbelastningar

Effekten av trafikstyrd VH för att homogenisera flödet är beroende av vid vilka belastningsgrader eller tidpunkter systemet är aktivt. Andelen har antagits överensstämma med andelen trafikarbete med tät trafik och belastningsgrad över 0,7 enligt Tabell 8.2. Beräkningarna utgår från flödets fördelning på timmar enligt rangkurvan för närtrafik.

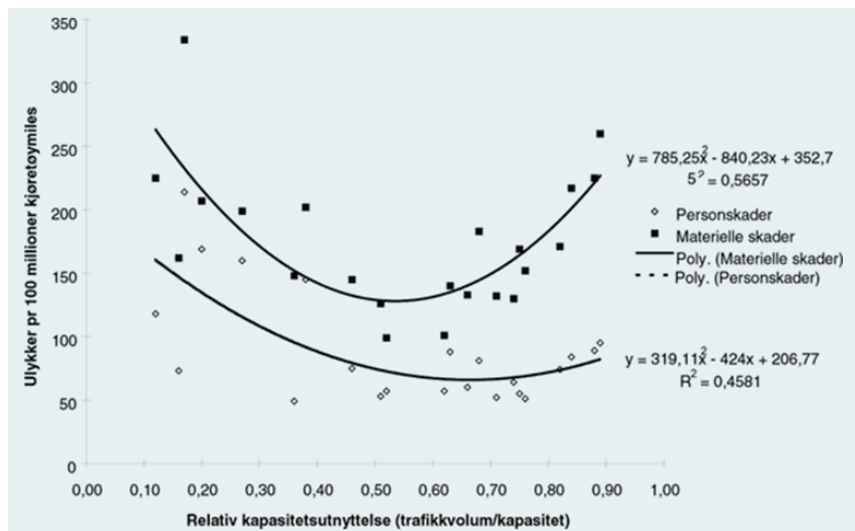
Tabell 8.2 Skattad andel aktiv trafikledning (andel tät trafik) för olika typer av motorvägar

ÅMD	Maximal genomströmning per timme	% av ÅMD	$v/c=0,7$	% av ÅMD	Andel tät trafik	Andel överbelastning
MV 4f						
15000	3900	52,0	2730	36,4	< 1%	< 1%
30000	3900	26,0	2730	18,2	< 1%	< 1%
45000	3900	17,3	2730	12,1	< 1%	< 1%
60000	3900	13,0	2730	9,1	9%	< 1%
75000	3900	10,4	2730	7,3	28%	4%
90000	3900	8,7	2730	6,1	51%	14%
MV 6f						
75000	5700	15,2	3990	10,6	3%	< 1%
90000	5700	12,7	3990	8,9	12%	< 1%
105000	5700	10,9	3990	7,6	23%	2%
120000	5700	9,5	3990	6,7	39%	7%
135000	5700	8,4	3990	5,9	54%	16%

MV 8f						
90000	7400	16,4	5180	11,5	1%	< 1%
105000	7400	14,1	5180	9,9	5%	< 1%
120000	7400	12,3	5180	8,6	15%	< 1%
135000	7400	11,0	5180	7,7	23%	2%
150000	7400	9,9	5180	6,9	36%	5%
165000	7400	9,0	5180	6,3	48%	11%

Erfarenheterna från E4 Södertäljevägen visar att det är viktigt att snabbt reagera vid risk för överbelastning. Ingen harmonisering ledde till fördröjning på 3384 timmar i maj 2014. Med manuellt system minskade fördröjningen med 21% till 2685 timmar och med autonomt system med 46% till 1843 timmar. Se vidare kap 9. Vi har därför antagit (avrundat) att funktionaliteten är 0,75 för autonoma system och 0,50 för manuella samt bygger kalkylen på att framtida system kommer att vara autonoma.

En amerikansk studie (Zhou m.fl. 1997) har studerat sambandet mellan belastningsgraden och olycksrisken.



Figur 8.2 Samband mellan olyckskvot och belastningsgrad (Zhou and Sisiopiku 1997)

I det studerade materialet varierade belastningsgraden mellan 0,12 och 0,89. Figur 8.2 visar resultatet som indikerar att olycksrisken är lägst vid en belastningsgrad på 0,6. Därefter ökar upphinnandeolyckorna så att olyckskvoten vid belastningsgrad 0,85 kan vara 50% högre.

Förklaringarna är flera till kurvans utseende:

- låga flöden ger högre hastigheter med ökad olyckskvot
- låga flöden infaller under mörker, vilket i sig själv ger ökad olyckskvot

Sambandet är dock betydligt svagare för personskadeolyckor. Vi antar därför försiktigtvis att personskadeolycksrisken är oförändrad i tät trafik med belastningsgrad över 0,7.

Införande av trafikstyrningssystem för harmonisering av trafik (VH) leder framförallt till trafiksäkerhetseffekter i form av färre upphinnandeolyckor. Hastighetsspridningen minskar, vilket gör det lättare att hantera väjningar och inbromsningar. I England minskade personskadeolyckorna ca 40% vid införande av variabel hastighet (ändring från 112 km/h till 80 km/h vid tät trafik). I Tyskland minskade personskadeolyckorna med 40% när man

ändrade fri fart till hastighetsgräns 120 km/h. När detta sedan kompletterades med VH och kövarning minskade olyckorna med ytterligare 20-30%.

Effekten av harmonisering beror på hur ofta systemet är aktivt. Vanligtvis ligger andelen av trafikarbetet (TA) i storleksordningen 25% eller mer i utvärderingarna. Holländska studier visar en minskning av primära olyckor med 15-25% (Middelham, 2008). Det skulle betyda att effekten när systemet är aktivt uppgår till 60-100%. Vi utgår här från 50% effekt vid harmonisering med VH från 120 km/h till 100 km/h.

I tät trafik med över 70% kapacitetsutnyttjande sjunker hastigheten ca 10 km/h jämfört med friflödeshastigheten. Kapaciteten kan påverkas av variabel hastighet i trafikstyrningsanläggningar när man kommer under personbilshastigheter på 120 km/h, med störst relativ inverkan kring 100 km/h. Avgörande för kapacitetstillskottet är inverkan på hastighets-spridningen. När denna minskar, ökar kapaciteten. Inga ytterligare effekter kan spåras under 80 km/h.

Ovanstående resonemang om kapacitetstillskott ger en mycket förenklad bild av inverkan av homogenisering med variabel hastighet. Ny kunskap (Kerner, 2013) och analys av systemet på E4 Södertäljevägen visar att effekten främst i består lägre frekvens av kapacitets-sammanbrott, vilket inte direkt återspeglas i hastighets-flödessambandet. Utan VH var fördröjningen i maj 2014 timmar, vilket motsvarar sänkt hastighet med 15 km/h till 85 km/h. Med VH gav harmoniseringen tidsvinster motsvarande en höjning av genomsnittshastigheten med 3 km/h med manuell styrning och 6 km/h med autonom styrning. Vid beräkningar i kapacitetsutredningen (TRV/Movea, 2011) antogs en restidsbesparing med VH motsvarande 5 km/h, vilket ligger i linje med dessa erfarenheter.

Ett sätt att hantera framkomlighetsvinster genom färre sammanbrott är genom ett fiktivt kapacitetstillskott, ett annat genom att införa en fiktiv hastighetsökning. Med hjälp av kapacitetsberäkningar i CALMAR är det dock möjligt att uppskatta antalet överbelastningar som funktion av trafikarbete med tät trafik, vilket är den metod som valts i kalkylarket. Antalet har kalibrerats mot utfall för Södertäljevägen, som visar att 60 överbelastnings-situationer uppstår i tät trafik per år. Både överbelastningar i rusningstrafik och under veckoslut beaktas. Fördröjningarna som uppstår har sedan beräknats med CALMAR.

Färre överbelastningar genom VH/harmonisering leder till mindre tid i kö med låg hastighet. Den genomsnittliga köhastigheten har dock antagits ligga lite högre, 50 km/h, vid överbelastningar jämfört med 40 km/h i samband med olyckor och incidenter.

9 Exempel på tillämpning

Här jämförs beräkningen av nytta och kostnader enligt den schabloniserade modellen med försök till summering av effekterna baserat på utvärderingen av Södertäljevägen år 2015 (Movea, 2015). Observera att detta exempel är gjort med en tidig version av kalkylverket (som då var under utveckling) och med värderingar enligt ASEK 6.0. Därför stämmer inte resultaten helt överens med det resultat som skulle fås om analysen gjordes om i nuvarande version av MESS-verktyget.

9.1 Indata för E4 Södertäljevägen

Tabell 9.1 Indata till schabloniserad kalkyl för MCS

		vägtyp	MV 6kf
		ÅMD	79000 f/d
		% Lb	8
		hastighetsgräns	100 km/h
Trafikarbete som berörs	331,0 Mfkm/år	sträcka	11,3 km

9.2 Trafiksäkerhet

Tabell 9.2 Trafiksäkerhetseffekter enligt schabloniserad kalkyl för MCS

Olyckskostnad	51,6 Mkr/år	olyckor/år	75,1
Sekundärolyckor som följd av primärolycka (skattat antal sekundärolyckor)	11 per år	andel sekundärolyckor	15%
Minskning av sekundärolyckor tack vare kövarning/rek.hastighet	3,2 per år	minskad skadeföljd pga varning	28%
Säkerhet, kövarning	6,5 Mkr/år	värdering	2,04 Mkr/olycka

Olyckor i samband med tät trafik (skattat antal primärolyckor)	2,9 per år	andel olyckor i tät trafik	4%
Minskning av personskadeolyckor tack vare VH/harmonisering	0,4 per år	minskning pga harmonisering	1,0%
Säkerhet, harmonisering	0,9 Mkr/år	värdering	2,04 Mkr/olycka

Utvärdering: Antalet trafikolyckor på Södertäljevägen olika år kartlades i utvärderingen. Olyckorna ökade under byggnadsperioden, men återgick därefter till samma nivå som före ombyggnaden. Sedan trafikledningssystemet installerats, nödfickor tillkommit och trafikanterna anpassat sig till de nya förutsättningarna har olyckorna halverats från ca 33,5 personskadeolyckor per år till ca 15 per år. De flesta olyckor är upphinnandeolyckor, som kan begränsas genom harmonisering och kövarning samt längre tidsluckor som följd av minskad belastning tack vare ökad kapacitet.

Detaljstudier visad att kövarningen leder till att inbromsningsförloppen vid olyckor blir lugnare. Därmed bidrar kövarningen och även VMS-information till att sekundärolyckor undviks. I utvärderingen antogs att detta bidrar till en fjärdedel av trafiksäkerhetseffekten. Med utgångspunkt från fördelningen på dödade, svårt skadade och lindrigt skadade fem år före ombyggnaden och Trafikverkets värderingar⁵ kan olyckskostnaden per olycka beräknas till 2,6 Mkr/olycka. Värdet av trafiksäkerhetsvinsten av trafikledningen kan då uppskattas till ca 12 Mkr/år.

Olyckorna har halverats på Södertäljevägen efter ombyggnad. En fjärdedel = 12,5% kan antas bero på breddökningen, som leder till lägre andel tät trafik. Japanska studier antyder att tät trafik kan innebära upp till 50% högre olycksrisk. Detta bekräftas av tyska studier som visar

⁵ ASEK5.1

att tillägg av ett körfält i genomsnitt leder till 18% färre olyckor. Denna kunskap beaktas f.n. ej i de svenska normalvärdena. En fjärdedel antas bero på separering av av- och påfarter vid trafikplatser, där det ofta bildas köer med upphinnandeolyckor. Den tredje fjärdedelen antas bero på nödfickor, som leder till färre trafikstörande haverier. Enligt tyska studier kan 90% av personbilar ta sig fram till nödfickorna av egen maskin. Den sista fjärdedelen (4,5 personskadeolyckor) antas bero på trafikledningssystemet.

MCS-kalkyl: Kalkylen ger rimligt antal minskning av olyckor (4,1 personskadeolyckor) och värderingen per olycka är också rimlig om man enbart räknar på persontrafikolyckor. Värderingen blir då 2,04 Mkr/olycka jämfört med 2,6 Mkr/olycka som användes i utvärderingen baserat på utfall enligt STRADA. Olyckshistoriken på Södertäljevägen visar att MCS påverkar mycket allvarliga olyckor med många inblandade. Detta motiverar högre olyckskostnad.

9.3 Framkomlighet med trafikledningssystem

Tabell 9.3 Generella framkomlighetseffekter tack vare trafikledning

Restid normalt	3,2 Mftim	medelhastighet	103,5 km/h
Minskad restid vid generell hastighetsökning	0,02 Mftim		104,0 km/h
		värdering generell hastighetsökning	190 kr/fh

Utvärdering: Medelhastigheter för Södertäljevägen har följts upp olika dagar. Om vi begränsar oss till enbart lågtrafiken har hastigheten ökat med 9,5 km/h till 2012. Denna ökning bör tillskrivas breddning av vägen. Efter 2012 har hastigheten ökat med ytterligare 4,5 km/h till 2014. Under denna tid har kövarning, harmonisering och VMS installerats, nödfickor tillkommit och trafikanterna blivit mer vana vid trafikföringen. Denna förbättring antas i utvärderingen försiktigtvis endast till begränsad del (10%) kunna tillskrivas trafikledningssystemet. Detta ger en nytta av trafikledningen på ca 1,5 milj kr per år.

Orsaken till att en fortsatt ökning av framkomligheten skett efter att breddningen genomförts är oklar. Anpassning av körstilen till den trefältiga motorvägen kan vara en orsak. En annan att nödfickor, Vägvak och AID bidragit till att trafikstörande fordonshaverier och andra hinder kraftigt minskat. En tredje orsak kan också vara att tillgång till trafikledning vid incidenter och tät trafik ger ökad framkomlighet när inga varningar förekommer. Antagandet att trafikledningssystemet lett till 0,5 km/h i ökad hastighet är därför inte orimligt.

Under rusningstrafiken på vardagar har hastigheten ökat med 15 km/tim fram till 2012. Därefter är ökningen 2,5 km/h ytterligare till 2014. En viss del (25%) av detta antas försiktigtvis kunna hänföras till trafikledningssystemet. Nyttan blir då 1,1 Mkr/år. Även vid tät trafik är det rimligt att trafikledning ger ökad framkomlighet när inga varningar förekommer. Antagandet i utvärderingen att trafikledningssystemet lett till 0,6 km/h i ökad hastighet är därför inte orimligt.

MCS-kalkyl: Baserat på resultaten från Södertäljevägen antas i den schabloniserade modellen att trafikledningssystemet ökar hastigheten med 0,5 km/h genomgående i såväl låg- som högtrafik. Totalt blir nyttan då 3,0 Mkr/år med schablonmodellen mot 2,6 Mkr/år enligt utvärderingen.

9.4 Framkomlighet vid aktiv trafikledning i tät trafik

Tabell 9.4 Framkomlighetseffekter i tät trafik enligt schabloniserad MCS-kalkyl

Restid normalt i tät trafik utan trängsel	0,12 Mftim	medelhastighet	103,5 km/h
Extra restid vid överbelastningar	0,08 Mftim	Frekvens (tillfällena/månad)	4,0
Minskad fördröjning tack vare VH/harmonisering	0,0046 Mftim		6,0%
		värdering	285 kr/fh
Delsumma, framkomlighet	1,3 Mkr/år		

Utvärdering: Under veckosluten uppstår långa köer på Södertäljevägen söderut på fredagar och norrut på söndagar. Hastigheten har därvid minskat med 4 km/h till 2012 och denna skillnad består år 2014. En trolig orsak är den ökade trafiken på vägen som innebär att fler kör mot Stockholm under söndagseftermiddagarna och kapaciteten räcker då inte till trots kapacitetsförstärkningarna.

Vägen klarar sig under en kort tid utan sammanbrott, men inte under långa perioder. Under vardagarna då efterfrågetopparna ofta är korta är överbelastningarna ännu sällsynta. Vid tät trafik har försök gjorts att påverka trafiken genom harmonisering. Denna har tagits i drift under 2014 och bara marginellt påverkat medelhastigheterna. Störst betydelse har harmoniseringen för att fördröja eller förhindra sammanbrott.

En överslagsberäkning angående fördröjning och tidskostnader har gjorts med utgångspunkt från analyserade VH-larm. Överslagsberäkning är gjord med schabloner utifrån fördröjning per köminut vid sammanbrott samt hastighetssänkning från 90 km/h till 80 km/h vid harmonisering. Jämförelser har gjorts av sammanbrotten i figurerna med trafikmodellen CALMAR⁶.

Med en antagen minskad kapacitet med 30 % ger det på Södertäljevägen en fördröjning på 4,7 h/köminut vid ett sammanbrott enligt CALMAR. Vid aktivering av harmoniseringen sker därtill en hastighetssänkning från 90 km/h till 80 km/h. Vid 80 km/h ger detta en restid på 508 sek och vid 90 km/h 452 sek, således en fördröjning på 56 sekunder. Vid 3900 f/h ($325^7 \cdot 12$) ger detta 1,01 h fördröjning per minut, och således 15,2 h eftersom minimitid för 80 km/h är 15 min. För de perioder då det ej har blivit ett sammanbrott och harmoniseringen är aktiverad blir det således tiden multiplicerad med 1,01. Vid de perioder då harmoniseringen inte har varit aktiverad men det har skett ett sammanbrott bedöms det som att harmoniseringen skulle ha klarat halva perioden och att därefter skulle ett sammanbrott skett.

Resultatet av beräkningarna visas i *Tabell 9.5* vid ett tidsvärde av 192 kr/fh och förseningsvikt = 1,5 för trängselförhållanden i enlighet med Trafikverkets dåvarande riktlinjer⁸

⁶ Se Trafikverkets metodbeskrivning för beräkning av kapacitet och framkomlighetseffekter i vägtrafikanläggningar (TRV 2013:64343)

⁷ 325 fordon per 5-minutersperiod är kriteriet för att aktivera VH på Södertäljevägen

⁸ ASEK5.1

Tabell 9.5 Fördröjning och tidskostnad för 3 olika scenarios, ingen harmonisering, manuell dito samt autonomt system (sydlig riktning).

	Ingen harmonisering	Manuellt system	Autonomt system
Fördröjning (h)	3384	2685	1843
Kostnad (kr)	975 000	773 000	531 000
Besparing (kr)	-	201 000	444 000
Besparing/år (kr)		1 208 000	2 663 000

De samhällsekonomiska besparingarna i form av minskade fördröjningar skulle enbart under maj månad 2014 med ett autonomt system, utan fördröjning vid larm, uppgå till ca 440 tkr. Om man följt larmen skulle harmoniseringen varit aktiverad sju gånger under månaden. Aktiveringarna av VH skulle då ha varit värda mer än 60 000 kr per gång.

Besparingen på 444 tkr i utvärderingen visar värdet i att utveckla ett autonomt system. Uppräknat till år indikerar beräkningarna att harmonisering med hjälp av variabel hastighet (80 km/h med röd ring) och ett autonomt triggningsystem har förutsättningar att ge samhällsekonomisk nytta motsvarande 2,7 milj kr per år. Vid uppräknningen har antagits att värdet från maj är representativt för fyra månader under året, att nyttan är hälften så stor under fyra månader och att ingen nytta uppstår under resterande fyra månader (företrädesvis vintermånaderna).

Motsvarande nytta borde vara möjlig att åstadkomma också i nordlig riktning, men flaskhalsen vid Hallunda innebär att förutsättningarna inte är lika gynnsamma. I utvärderingen antogs att nyttan skulle kunna uppgå till hälften så stor i nordlig riktning vid fortsatt kalibrering av systemet. Totalt får vi då en nytta av harmoniseringen på ca 4 milj kr per år.

MCS-kalkyl: Enligt schablonmodellen är antal överbelastningar 4,0 tillfällen/månad eller 48 ggr per år. Enligt utvärderingen var antalet tillfällen totalt $10 \cdot 4 + 5 \cdot 4 + 0 \cdot 4 = 60$ tillfällen per år, främst i sydlig riktning. Enligt modellen ger harmoniseringen ca 27000 kr per gång. Detta värde ligger mellan värdet för det manuella systemet i utvärderingen (ca 20 000 kr per gång) och värdet för ett automatiskt system utan fördröjningar (60 000 kr per gång).

Schablonmodellen är försiktigare, men förutsätter att harmoniseringen fungerar i båda riktningarna. Då blir nyttan 1,3 Mkr mot 4,0 Mkr enligt utvärderingen. I praktiken har förekomsten av flaskhalsar vid trafikplatser stor inverkan på systemet, men denna problematik är mycket komplicerad och kan ej beaktas i schablonmodellen.

9.5 Framkomlighet vid olyckor och haverier

Tabell 9.6 Framkomlighetseffekter vid incidenter enligt schabloniserad MCS-kalkyl

Extra restid pga allvarliga incidenter	0,13 Mftim	Frekvens (incidenter/månad)	24,1
Minskad fördröjning tack vare kövarning /rek.hastighet	0,0054 Mftim		4,2%
Delsumma, framkomlighet	6,5 Mkr/år	värdering av oväntade förseningar	665 kr/fh

Utvärdering: Antalet olyckor minskade medan antalet haverier i körfält ökade något efter ombyggnaden. Olyckorna hanteras bättre än tidigare genom trafikledningssystemet. Eftersom effekterna var motstridiga antogs framkomligheten vara oförändrad i utvärderingen.

MCS-kalkyl: Ökningen i antal haverier efter ombyggnad torde vara tillfälligt. När förarna lärt sig utnyttja nödfickorna bättre och trafikledningen att stänga av högerkörfältet med ledning av AID-systemet vid behov borde tvärtom antalet trafikstörande fordonshaverier minska. Antalet incidenter uppgår enligt den schabloniserade modellen till 24 per månad. Vid uppföljningen detekterades 7-17 tillfällen med hastighet under 60 km/h och längre varaktighet än 5 min vid Moraberg och 5-12 tillfällen vid Hallunda i maj månad 2012-2014. Modellen kan därför anses ge ett rimligt antal incidenter per månad.

Slutsatsen är att det är rimligt att ta med vinster av bättre incidenthantering i schablonmodellen. Schablonmodellen innebär att fördröjningen minskar med ca 4%. Av framkomlighetsvinsten avser 3,0 Mkr/år den generella hastighetsökningen på 0,5 km/h och resterande 3,5 Mkr /år nyttan av trafikledning genom färre olyckor och incidenter.

9.6 Miljö och climateffekter

Tabell 9.7 Climateffekter enligt schabloniserad MCS-kalkyl

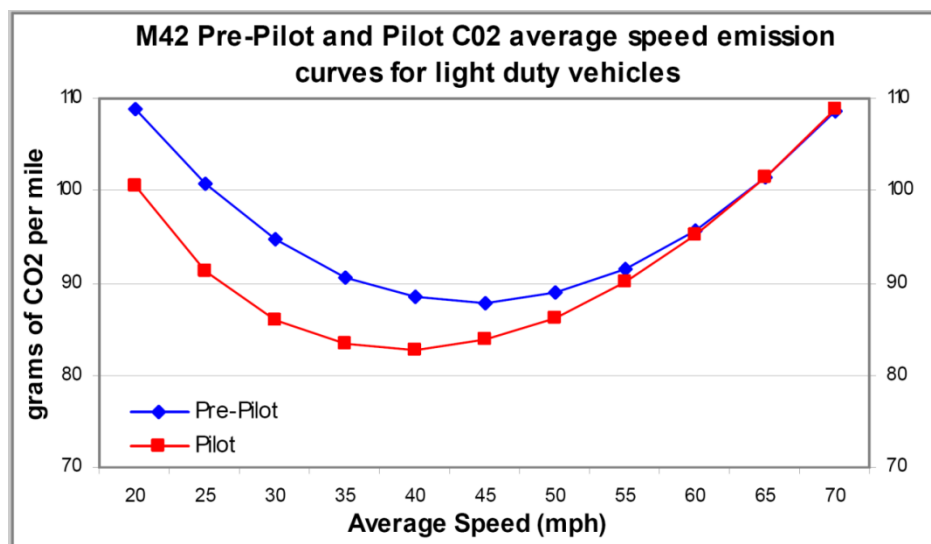
Kövarning/rek. hastighet

		normal bränsleförbrukning	0,57 liter/mil
Bränsleförbrukning pga sekundärolyckor	0,4 M liter	bränsleförbrukning i kö	1,53 liter/mil
Minskad bränsleförbrukning tack vare kövarning / rek.hastighet			0,11 liter M
Minskat koldioxidutsläpp	0,25 M kg		2,37 CO ₂ /liter
Klimat-effekter, kövarning	0,9 Mkr/år	värdering	1,14 kr/kg CO ₂

VH/harmonisering

Minskad bränsleförbrukning tack vare kövarning / rek.hastighet	0,3 M liter		
Minskat koldioxidutsläpp	0,7 M kg		2,37 CO ₂ /liter
Klimat-effekter, harmonisering	0,8 Mkr/år	värdering	1,14 kr/kg CO ₂

Utvärdering: Bedömningen utgick från kurvan nedan i *Figur 9.1*. Vid högre hastigheter mellan 80 och 110 km/h (50-80 mph) ökar koldioxidförbrukningen. Figuren, som härrör från mätningar på M42 utanför Birmingham i England, visar att CO₂-emissionerna med harmonisering minskar med upp till 10% vid lägre hastigheter tack vare att hastighets-spridningen (och därmed accelerationer och retardationer) vid samma medelhastighet minskat.



Figur 9.1 Utsläpp vid normal trafik samt vid harmonisering (Pre-pilot = före, pilot = efter harmonisering)

I genomsnitt uppgick effekten för M42 till 4%. I försöken ingick även förstärkt hastighetsövervakning med sträck-ATK. Det är därför osäkert om effekterna blir mer än marginella på Södertäljevägen med begränsad hastighetsövervakning. I utvärderingen antogs därför att miljöpåverkan var oförändrad.

MCS-kalkyl: Schablonmodellen ger 1,5% lägre förbrukning genom harmoniseringen, vilket är i linje med bedömningarna i utvärderingen.

9.7 Kostnader för trafikledning

MCS-anläggning, investering		40 års livslängd	39,6 Mkr
Kommunikationsutrustning		reinvestering sker efter 20 år	28,3 Mkr
Drift		per år	5,7 Mkr
Delsumma, kapitalkostnader	9,4 Mkr/år		

Utvärdering: I utvärderingen antogs att den relevanta kostnaden var 62,5 Mkr. Livslängden för hälften av utrustningen (kommunikation) antogs uppgå till ca femton år och för andra hälften (anläggningar) ca fyrtio år. Detta ger en kapitalkostnad på 4,8 Mkr/år. Drift och underhåll kan beräknas till ca 2 Mkr per år. Totalt är således kostnaden ca 6,8 Mkr/år.

MCS-kalkyl: Schablonmodellen utgår från 3,5 Mkr/km för infrastruktur i form av portaler och 2,5 Mkr/km för kommunikationsutrustning. Detta ger totalt en investering på ca 68 Mkr för MCS i ytläge. För drift räknas med 0,5 Mkr/km vardera för infrastruktur resp kommunikationsutrustning. Detta ger en något högre kapitalkostnad än i utvärderingen, som vi tror är något lågt räknat.

10 Forskningsbehov för framtida förbättringar

Effekterna av införande av trafikledningssystem på motorvägar är vanskliga att bedöma. Ofta innehåller MCS-system flera delar som är svåra eller omöjliga att isolera från varandra. Ofta införs trafikledningssystem som på Södertäljevägen tillsammans med breddning av vägen, förändring av vägrensbredden, komplettering med nödfickor och införande av patrullering genom vägassistansbilar. Södertäljevägen är dock ett bra exempel på en ombyggnad där det varit möjligt att följa utvecklingen från före ombyggnaden år 2009 till full driftsättning år 2013.

Mestadels kommer forskningsresultaten som använts här från utlandet med 120 km/h som hastighetsgräns, vilket är vanligt i Holland, England och Tyskland. Stor osäkerhet råder om hur man överför detta till svenska förhållanden med lägre hastighetsgränser. Södertäljevägen är en landsbygdsmotorväg med långt mellan trafikplatser och hastighetsgräns 100 km/h. Det är önskvärt att en liknande utvärdering kan genomföras på en motorväg med mer urbana förhållanden och hastighetsgräns 80 km/h.

För att bedöma effekten av kövarning/rekommenderad hastighet behöver man känna till förekomsten av incidenter av olika slag och kartlägga i vilka situationer kövarningssystemet aktiveras. Vi har använt oss av en bedömning som gjorts avseende hela det statliga vägnätet (Movea, 2011), men denna skulle behöva uppdateras och förbättras. Kartläggningen borde undersöka frekvensen incidenter av olika varaktighet på motorvägar, hur stor inverkan på kapaciteten dessa har och i vilken grad kövarningssystemen aktiveras för olika incidenter.

För att bedöma effekten av variabel hastighet/harmonisering behöver man känna till förekomsten av tät trafik och risken för kapacitetssammanbrott. Förekomsten av tät trafik har vi beräknat utifrån rangkurvan för närtrafik och ÅMD-trafiken. Sambandet mellan belastningsgraden och risken för sammanbrott är dock komplicerat och behöver studeras vidare. Det är också oklart hur effekten av harmonisering påverkas vid lägre hastighetsgränser. I Tyskland har man t.ex. fått fördubbling av olyckorna vid vägrenskörning vid fri fart, medan ingen ökning av olyckorna uppstår vid fordonshastigheter under 80 km/h. Frågan är därför hur variabel hastighet påverkar flödet vid lägre hastighetsgränser. Inverkan på harmonisering av fordonshastigheter och distanshållning inom och mellan körfält behöver därför studeras ytterligare.

Säkerhetseffekten av kövarning/rekommenderad hastighet bygger till stor del på att andelen sekundärolyckor är 15% och att hälften av dessa kan påverkas genom MCS. Detta baseras på studier från USA och Holland. Sekundärolyckor är olyckor som uppstår som följd av olyckor, haverier och andra orsaker till köer med lägre hastigheter än normalt. En omprövning av detta för svenska förhållanden är önskvärd.

Framkomlighetseffekten av variabel hastighet/harmonisering bygger till stor del på resultat från Södertäljevägen, där försök och kalibrering gjorts under en längre tid. Utvärderingen visar att flaskhalsar på sträckan har stor betydelse för resultatet. Utländska studier visar vidare att omkörningsförbud för lastbilar och förekomst av hastighetsövervakning påverkar såväl risken för olyckor som risken för kapacitetssammanbrott.

Referenser

- Kerner, B.S. (2013) Fundamental Empirical Features of Traffic Breakdown. TEC.
- Lind G. och Lindkvist A. (2012) ITS-implementering 2007-2012. Översiktlig bedömning av effekter.
- Lind G. och Strömgren P. (2011a) Säkerhetseffekter av trafikledning och ITS. *Arbetsrapport 1. Litteraturinventering*.
- Lind, G. och Strömgren, P. (2011b) Säkerhetseffekter av trafikledning och ITS. *Arbetsrapport 2. Skiss till trafiksäkerhetsmodell*. Movea.
- Middelham F. (2008) Traffic Management: Some History and future of ITS. ISHEP 2008.
- Movea (2011) Smart navigering. Vilken nytta gör trafikinformation i bilen? Gunnar Lind och Anders Lindkvist.
- Movea (2015) E4/E20 Södertäljevägen. Effekter av trafikledning, vägrensutnyttjande och nödfickor.
- Raub R.A. (1997) Secondary crashes: An important component of Roadway Incident management. *Transportation Quarterly* 51.3; 93-104
- TRV/Movea (2011) ITS i kapacitetsutredningen. Behov, system och effekter. Underlagsrapport.
- Trafikverket (2014) Olyckskvoter beräknade med Lill Eva version 2.7.
- Trafikverket (2018a) Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1. Kapitel 2 Samhällsekonomisk teori och metod
- Trafikverket (2018b) Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1. Kapitel 5 Kalkylprinciper och generella kalkylvärden
- Zhou, M. and Sisiopiku, V.P. (1997) Relationship Between Volume-to-Capacity Ratios and Accident Rates. *Transportation research record* 1581, TRB, 1997.