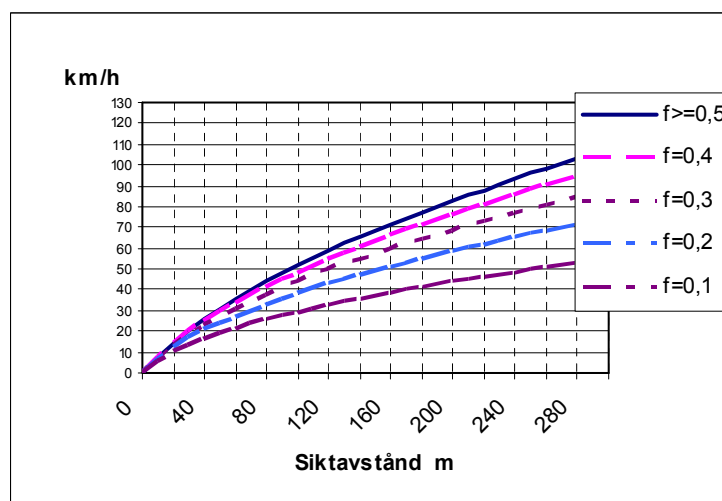


Lämpliga högsta hastigheter i olika kritiska situationer



András Várhelyi
Magnus Hjalmdahl
Ola Hagring

2003

Lämpliga högsta hastigheter i olika kritiska situationer

András Várhelyi
Magnus Hjalmdahl
Ola Hagring

Ämnesord:

Lämpliga högsta hastigheter, kritiska situationer

Referat:

Rapporten ger en översikt över situationer som är kritiska ur hastighetsanpassningssynpunkt, såsom vått, halt väglag, mörker, dimma, fotgängarnärvaro vid övergångsställe, korsning, skola, vägarbetsplats, kurva och köslut samt ger förslag på förfarande vid beräkning av lämpliga högsta hastigheter i dessa situationer baserat på teoretiskt arbete. Vidare diskuteras olika sätt att påverka fordonsförare att anpassa sin hastighet till den beräknade lämpliga högsta hastigheten.

Med stöd från:



Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola
Avdelning Trafikteknik
Box 118, 221 00 LUND, Sverige

Department of Technology and Society
Lund Institute of Technology
Traffic Engineering
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Förord

Denna rapport har tillkommit på uppdrag av Vägverket. För innehållet i kapitel 2.6-2.7 samt 3.1 har Magnus Hjälmdahl svarat medan kapitel 2.8 har skrivits av Ola Hagring. De övriga kapitlen har skrivits av undertecknad med bidrag från medförfattarna.

Lund i maj 2003-06-05

András Várhelyi

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING.....	I
SUMMARY	II
1 BAKGRUND OCH SYFTE.....	1
2 BERÄKNING AV LÄMPLIGA HÖGSTA HASTIGHETER I KRITISKA FÖRHÅLLANDEN.....	5
2.1 NEDSATT FRIKTION	5
2.2 NEDSATT SIKT.....	7
2.3 MÖRKER	9
2.4 KURVA	10
2.5 ÖVERGÅNGSSTÄLLE, SKOLOMRÅDE.....	12
2.6 VÄGARBETSPLATS / OLYCKSOMRÅDE	13
2.7 KORSNING	13
2.8 RISK FÖR FLÖDESSTÖRNING.....	14
3 PÅVERKAN PÅ FÖRARES HASTIGHETSVAL.....	16
3.1 FÖRSLAG PÅ SYSTEMUTFORMNING.....	16
3.2 VARIABLA HASTIGHETSSKYLTAR	18
3.3 FORDONSBASERADE SYSTEM	19
3.3.1 Information i fordon via display.....	20
3.3.2 Feedback i fordon.....	21
3.3.3 Intervenerande system i fordon.....	22
4 DISKUSSION, SLUTSATSER.....	25
4.1.1 Fortsatt forskning.....	25
REFERENSER.....	27

Sammanfattning

Hastighetsanpassningen i kritiska situationer, såsom vid vått, halt väglag, i mörker, i dimma vid övergångsställe, korsning, skola, vägarbetsplats, kurva är långt ifrån tillfredsställande medan olycksrisken ökar dramatiskt i dessa situationer. För höga hastigheter inför köslut gör att risken för upphinnandeolyckor är hög och chockvågseffekter kan uppstå som i sin tur kan leda till flödessammanbrott. Dagens hastighetsbegränsningssystem är rigid och det försöker verka i ett dynamiskt system. Dynamiskt ändrade hastighetsgränser, anpassade till rådande förhållanden har en stor trafiksäkerhets- och framkomlighetshöjande potential.

Syftet med detta arbete har varit att genomföra teoretiskt arbete för att definiera de lämpliga högsta hastigheterna i situationer där dynamisk hastighetsanpassning kan användas för att öka säkerheten och förbättra framkomligheten.

Beräkningen av lämpliga hastigheter i kritiska förhållanden baseras på "konstant stoppsträcka", så att föraren skall kunna stanna sitt fordon på samma sträcka på vått och halt väglag som på torrt väglag samt inom siktsträckan. För beräkning av högsta lämpliga hastighet i mörker används kriteriet att stoppsträckan skall vara kortare än den belysta siktsträckan så att ett fordon kan stanna för ett oväntat stationärt föremål. I tätbebyggt område där motorfordon och oskyddade trafikanter delar samma ytor bör fordonshastigheter ej överskrida 30 km/h vid interaktion med oskyddade trafikanter. Vid vägarbeten och förbi olycksplatser där arbetarna och räddningspersonal uppehåller sig bör hastigheten ej överstiga 30 km/h. I korsningar med endast biltrafik bör hastigheten sättas till max 50 km/h. Beräkning av optimal hastighet för högsta flöde för olika vägtyper baseras på förhållanden mellan hastighet, flöde och täthet under ideala trafik- och vägförhållanden. För att kunna etablera och matematiskt beskriva de faktiska förhållandena för en enskild vägsträcka är observationer av dessa parametrar i fält nödvändiga.

Systemet för påverkan av förarens hastighetsval kan baseras på vägsidesinformation med hjälp av omställbara skyltar med information om hastighetsgräns eller rekommenderad hastighet eller kan vara fordonsbaserat med information i bilen via display, feedback eller hastighetsbegränsare. Informerande system är mindre effektiva än fordonsbundna system med feedback eller system som intervenerar vid felaktig hastighetsval. Nackdelen med fordonsbundna system är att de kräver en relativt lång och omfattande implementeringsprocess.

Följande frågeställningar är viktiga att arbeta med vidare rörande system för dynamisk hastighetsanpassning:

- Det krävs ytterligare forskning för att klarlägga bilisternas reaktioner för att kunna bedöma potentialen hos dynamiska hastighetsanpassningssystem.
- För att kunna beräkna kapacitets- och framkomlighetseffekter krävs empiriska fältförsök.

Summary

Speed adaptation in critical situations, such as wet/slippery roads, darkness, fog, at pedestrian crossings, intersections, school zones, road work zones, curves, are far from satisfactory while accident risks increase drastically in these situations. Excess speeds at queue tails create high risks for rear-end accidents and chock-wave effects can emerge which in their turn can lead to a collapse of flow. Today's speed limit system is rigid while it is supposed to work in a dynamic system. Dynamically changing speed limits, adapted to the prevailing conditions have a great potential to improve road safety and vehicle flow.

The aim of this work has been to carry out theoretical work in order to define the appropriate highest speeds in situation there dynamic speed adaptation can be applied to increase safety and improve vehicle flow.

The calculation of the appropriate highest speeds in critical conditions is based on the criterion of "constant stopping distance", which means that the vehicle can be stopped within the same distance regardless of whether the road surface is dry or wet/slippery and within the visibility distance. The criterion for the calculation of the appropriate highest speed in darkness is that the stopping distance must be shorter than the lit-up visibility distance for the vehicle to stop in case of an unexpected stationary object ahead. In built up areas where motor vehicles and vulnerable road users share the same space vehicle speeds should not exceed 30 km/h in interactive situations with pedestrians and bicyclists. At road work zones and accident sites where road workers and rescue personnel are present vehicle speeds should not exceed 30 km/h. At intersections with only motorized traffic the maximum speed level should be 50 km/h. The calculation of the optimal speed for highest flow for different road types is based on the relations between speed, flow and density under ideal traffic and road conditions. To be able to establish and mathematically describe the actual conditions for a particular road stretch, observations of these parameters in field are necessary.

The system for influencing the driver's speed choice can be based on road-side information with the help of variable message signs with the actual speed limit or recommended speed or vehicle based with information in the car via a display, feedback or speed limiter. Informative systems are less efficient than vehicle based systems with feed-back or systems intervening in case of erroneous speed choice. The draw-back with vehicle based systems is that they demand a relatively long and extensive implementation process.

- - The following questions are important to continue work regarding dynamic speed adaptation:
 - More research is needed in order to investigate driver reactions to be able to estimate the potential of dynamic speed adaptation systems.
 - To be able to calculate effects on capacity empirical observations in field are necessary.

1 BAKGRUND OCH SYFTE

Den svenska trafiklagstiftningen är baserad på tillit till förarna, att de skall anpassa sina hastigheter till de aktuella förhållandena med hänsyn till sin egen och andra trafikanternas säkerhet. Lagstiftningen påbjuder tydligt att hastigheten skall anpassas till de rådande förhållandena. Utdrag ur Vägtrafikkungörelsen (VTK, 1972):

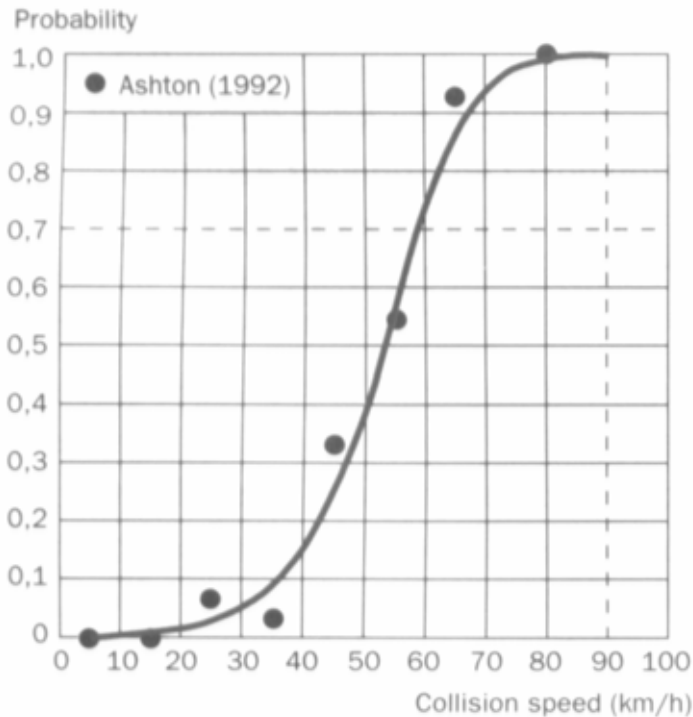
"60 § Fordons hastighet skall anpassas till vad trafiksäkerheten kräver med beaktande av väg-, väderleks- och siktförhållandena, fordonets skick och belastning samt trafikförhållandena i övrigt. Hastigheten får aldrig vara högre än att föraren behåller herraväldet över fordonet och kan stanna det på den del av den framförvarande körbanan som han kan överblicka och framför varje förut-sägbart hinder..."

Därmed läggs ansvaret på den enskilda föraren att han/hon själv skall avgöra vilken hastighet som är mest lämplig i den givna situationen med bland annat hänsyn till sin egen och de andra trafikanternas säkerhet. Men de verkliga hastigheterna och olycksstatistiken visar att föraren inte alltid kan eller vill göra det. Resultat från ett experiment (Hogema & Horst 1994) då man studerade påverkan av reducerad sikt och friktion på förarbeteende visade att förarens självanta hastighetsanpassning (särskilt inom siktavstånd 40 till 120 m) var otillräcklig för att kunna stanna i god tid för ett fast objekt som dök upp framför bilen i dimma. Detta visar att dimman i sig har ingen effekt på avståndshållning. Förarna antingen utgår ifrån att det inte finns något stillastående objekt på vägen eller överskattar sin förmåga att stanna.

Hastighetsanpassningen i kritiska förhållanden (vått, halt väglag, mörker, dimma) är långt ifrån tillfredsställande medan olycksrisken ökar dramatiskt i dessa förhållanden (se tabell 1). Olycksrisken på vått väglag är upp till 1,5 ggr (Sabey 1973) och på halt väglag upp till 9 ggr (Schandersson 1986) högre än på torrt väglag. I mörker är det 2 ggr högre än i dagsljus (Brüde m.fl. 1980). Det är oacceptabelt att riskerna varierar så vitt i trafiken. I många kritiska situationer underskattar föraren riskerna och misslyckas följaktligen med att välja rätt hastighet.

Tabell 1. Förändringar i hastighet och risknivåer (olyckor/fordonskilometer) i olika kritiska väg- och ljusförhållanden jämfört med normala förhållanden.

Förhållande	Förändring i medelhastighet	Förändring i olycksrisk
Vått väglag	0 - -6 %	+10 - +50 %
Halt väglag	-7 - -11 %	+400 - +800 %
Mörker	+9 - -7 %	+30 - +100 %



Figur 1. Sannolikheten att en fotgängare överlever vid olika påkörningshastigheter (Pasanen 1992)

En översikt av studier av förarbeteende vid övergångsställe visade bl.a. att fotgängarnärvaro vid övergångsstället har ingen eller liten hastighetsminskande effekt på motorfordon, samt att bilförare är mer benägna att sakta ner eller stanna för korsande fotgängare om fordonets initiala hastighet är låg (Várhelyi 1998). En empirisk studie om bilförares hastighetsbeteende vid övergångsställe (Várhelyi 1998) visade att endast i 5 % av fallen gav bilföraren företräde till fotgängaren (före ändring av lagstiftningen om företrädesbeteende vid övergångsställe). I interaktiva situationer upprätthöll 3 av 4 förare samma hastighet som innan eller t.o.m. accelererade. Dessa resultat indikerar att upprätthållande av en hög hastighet (t.o.m. överskridande hastighetsgränsen på 50 km/h) var signalen från föraren att han inte ämnade ge företräde till fotgängaren på övergångsstället. Slutsatsen var att i interaktiva situationer måste bilföraren påverkas innan han når beslutszonen vid 50-40 m före övergångsstället för att förhindra beteendet "signalera med hastigheten". Dessa resultat härrör från perioden före ändring av lagstiftningen om företrädesbeteende vid övergångsställe år 2000, men det finns indikationer på att efterlevnaden av företrädesbeteende efter lagändringen ligger fortfarande på en relativt låg nivå då endast c.a 50 % av fordonen stannar för fotgängare vid övergångsställe (Thulin och Obrenovic 2001).

Olika studier har visat att en av de mest framträdande orsakerna till trafikolyckor vid vägarbetsplats är för höga hastigheter. Bilförarna reagerar inte i tillräcklig stor utsträckning på skyltning av hastighetsgränserna (se t.ex. Noel m.fl. 1987).

Med vetskap om förhållandet mellan hastighetsnivån och olycksrisk, vilket kort kan sammanfattas med tumregeln att en minskning av medelhastigheten på 1 km/h resulterar i en minskning av antalet personskadeolyckor med 3 % (se t.ex. Salusjärvi 1981; Nilsson 1982; Elvik, Vaa and

Östvik 1989; Finch m.fl. 1994), är det klart att hastighetsanpassning i kritiska förhållanden är otillfredsställande och säkerhetspotentialen av mer lämpliga hastigheter i dessa förhållanden är hög.

Teoretiska beräkningar visar att om man uppnådde lämpliga hastigheter i kritiska förhållanden skulle antalet personskadeolyckor kunna minska med upp till 80 % under dessa förhållanden, vilket skulle innebära en minskning av det totala antalet personskadeolyckor i Sverige med c:a 20 % (Vårhelyi 1996).

För höga hastigheter inför köslut gör att risken för upphinnandeolyckor är hög och chockvågseffekter kan uppstå som i sin tur kan leda till flödessammanbrott. Med dynamisk hastighetsstyrning kan flödessammanbrott på grund av alltför hög täthet förebyggas. Med sänkt hastighet blir det färre häftiga inbromsningar, vilket innebär att risken för upphinnandeolyckor minskar, som i sin tur leder till en jämnare trafikrytm. Kapaciteten ökar något som en följd av minskad hastighetsvariation. Detta gör att alla trafikanters genomsnittshastighet ökar, trafikstockningar undviks samtidigt som olycksriskerna minskar.

Man kan skilja på två olika typer av system, aktiva och reaktiva. De aktiva systemen försöker att förebygga oönskade tillstånd, t.ex. köer, medan de reaktiva opererar utifrån att oönskade tillstånd inträffat. Aktiva hastighetsvisningssystem finns inte idag eftersom de system som har provats inte gav tillförlitliga resultat (van Toorenburg och de Kok 1999). Däremot förekommer reaktiva system, som utifrån t.ex. köbildning kan ge besked om lämplig hastighet.

När det holländska MCSS-systemet (Motorway Control and Signalling System) utvärderades kunde några positiva effekter konstateras (Jenezon m.fl. 1987). En sådan var att antalet olyckor minskade efter införandet av dynamisk skyltning, se tabell 2 nedan. Minskningen av antalet olyckor var störst där MCSS införts. Det anmärkningsvärda med resultaten är dock inte detta utan den stora generella minskningen. Någon förklaring till detta (t.ex. olika långa mätperioder) anges i referensen. I referensen diskuteras också inverkan på sekundära olyckor (olyckor orsakade av annan olycka) men några resultat som beskriver eventuella förändringar ges inte.

Tabell 2. Förändring av antal olyckor före/efter MCSS (Jenezon m.fl. 1987).

	Före	Efter
Sträckor med MCSS	1227	315
Sträckor utan MCSS	1217	409

Beukers (1984) anger 27 % färre olyckor, och en kapacitetsökning med 4 % vid överbelastning. En senare studie (Berg och Bukkems 2001) anger 20 % färre olyckor och något ökad kapacitet. I Tyskland (Eliasson 1997) har man på vissa platser mätt upp olycksreduktioner på 40 % och en minskning av antalet köande med 20 %.

Ett dynamiskt hastighetsvisningssystem är MCS (Motorway Control System) (Vägverket, 2003) som är implementerat i Stockholm. Detta system bygger på det holländska MCSS. MCS består av ett antal sensorer, i form av mikrovägsdetektorer. Dessa sensorer hänger över vägbanan och känner av hur många fordon som passerar. När hastigheten underskrider en viss nivå, föreslår systemet en sänkning av den högsta rekommenderade hastigheten. Den sänkta hastigheten visas i de lysande skyltarna som tillhör systemet och som hänger under vägportalerna. Mätningen av hastigheter innehåller funktioner (exponentiell utjämning, min- och maxhastigheter) för att

undvika att allt för snabba förändringar (oscillationer) i skyltningen görs. Separata funktioner används för ökande respektive minskande hastigheter. Då det finns ett stort antal portaler med detektorer innebär detta att hastighetsrekommendationerna kan hållas geografiskt korrekta. Effekterna av det svenska MCS-systemet i Stockholm har varit begränsade. Såväl hastigheter som hastighetspridning har minskat men förändringarna har inte varit signifikanta (Kronborg m.fl. 2002).

Dagens hastighetsbegränsningssystem är rigid och det försöker verka i ett dynamiskt system. Dynamiskt ändrade hastighetsgränser, anpassade till rådande förhållanden har en stor trafiksäkerhets- och framkomlighetshöjande potential. För att åstadkomma ett sådant system är en av förutsättningarna att beräkna vilka de lämpliga högsta hastigheterna är i kritiska situationer.

Syftet med detta arbete har varit att genomföra teoretiskt arbete för att definiera de lämpliga högsta hastigheterna i kritiska situationer där dynamisk hastighetsanpassning kan användas för att öka säkerheten och förbättra framkomligheten.

2 Beräkning av lämpliga högsta hastigheter i kritiska förhållanden

2.1 Nedsatt friktion

Kriteriet för beräkning av lämpliga hastigheter i kritiska förhållanden bör vara att föraren måste kunna stanna sitt fordon på samma sträcka på vått och halt väglag som på torrt väglag samt inom siktsträckan. Utgångspunkten för beräkningen är normala väg- och siktförhållanden på en given väg. Lämpliga hastigheter, beräknade på det sättet, skulle inte nödvändigtvis innebära samma risknivåer i kritiska förhållanden som i normala förhållanden, eftersom lägre hastigheter i kritiska förhållanden skulle leda till mindre allvarliga följder i en eventuell kollision.

Beräkningen av den lämpliga högsta hastigheten baseras på "konstant stoppsträcka". Det innebär att hastigheten bestäms vid den rådande friktionen så att fordonet kan stoppas på samma sträcka oberoende av friktionen. Stoppsträckan beräknas enligt formeln:

$$s = v * t_r + \frac{v^2}{2 * g * (f + G)} \quad (1)$$

där

s = fordonets stoppsträcka (m)

v = fordonets hastighet (m/s)

t_r = förarens reaktionstid (2 sek)

f = friktionskoefficienten

G = vägens lutning (+uppför; - nerför)

g = tyngdaccelerationen (m/s²)

När **v** löses ur ekvationen fås hastigheten (lösningen med + tecknet) för den "konstanta stoppsträckan" för olika friktionsvärden enligt:

$$v = \frac{(-t_r + \sqrt{pt_r^2 + 2s / (g(f + G))})}{1 / (g(f + G))} \quad (2)$$

Hur stort värde på reaktionstiden som appliceras i formeln kan diskuteras. Variationen på bromstidsvärden hos enskilda personer är stor. Det kan skilja med en faktor på nästan 4 mellan olika personer. När föraren är beredd för signalens tidpunkt och plats kan han detektera signalen och byta foten från gaspedalen till bromspedalen på 0,70 till 0,75 sekunder (Green 2000). Responsten på oväntade med vanligt förekommande signaler, som t.ex. framförvarande fordons bromsljus är 1,25 sekunder, medan reaktionstiden på överraskande händelser, som t.ex. ett objekts plötsliga rörelse in i förarens trajektorium är c:a 1,5 sekunder. Dessa tider påverkas av andra faktorer, såsom förarens ålder, kön, mental belastning och angelägenhet. Sivak (1987) fann reaktionstider hos icke förvarnade förare vid stop signal på 1.0–1.5 sek i genomsnitt. Reaktionstiden för en mindre andel förare (2%) var betydligt längre (2.0–2,5 sek). Törnros (1995) undersökte hastighetens effekt på reaktionstiden genom att jämföra förarens reaktionstid

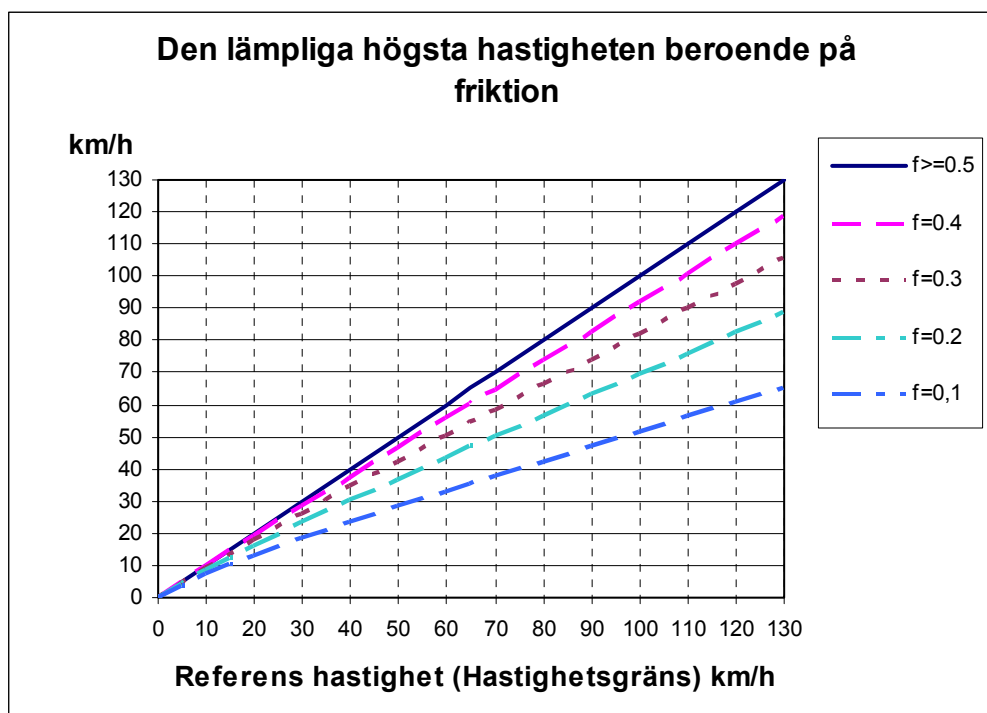
vid hastigheter på 70, 90 och 110 km/h. Han fann att en ökning av hastigheten från 70 till 110 km/h minskade reaktionstiden med 15 msek, d.v.s. 4%. Emellertid, denna lilla vinst i reaktionstiden kan inte kompensera för skillnaden i avståndet fordonet passerar under denna tid vid den högre hastigheten jämfört med den lägre hastigheten.

Nedan visas några exempel för beräkning av den lämpliga högsta hastigheten på en horisontell vägsträcka ($G=0$). Tabell 3 nedan visar stoppsträckan för olika vägar med torrt väglag när fordonet framförs med hastighet på hastighetsgränsen. Den lämpliga högsta hastigheten på vått- och halt väglag beräknas baserat på dessa "konstanta stoppsträckor" (se figur 2). Följande friktionsvärden används för olika väglags-förhållanden:

- torrt väglag $f = 0.5$
- vått väglag $f = 0.3-0.4$
- halt väglag $f = 0.1-0.2$

Tabell 3. Stoppsträcka vid olika hastigheter vid torrt väglag på horisontell väg ($G=0$).

Referenshastighet (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Stoppsträcka (m)	24 m	35 m	47 m	62 m	77 m	95 m	114 m	134 m	156 m

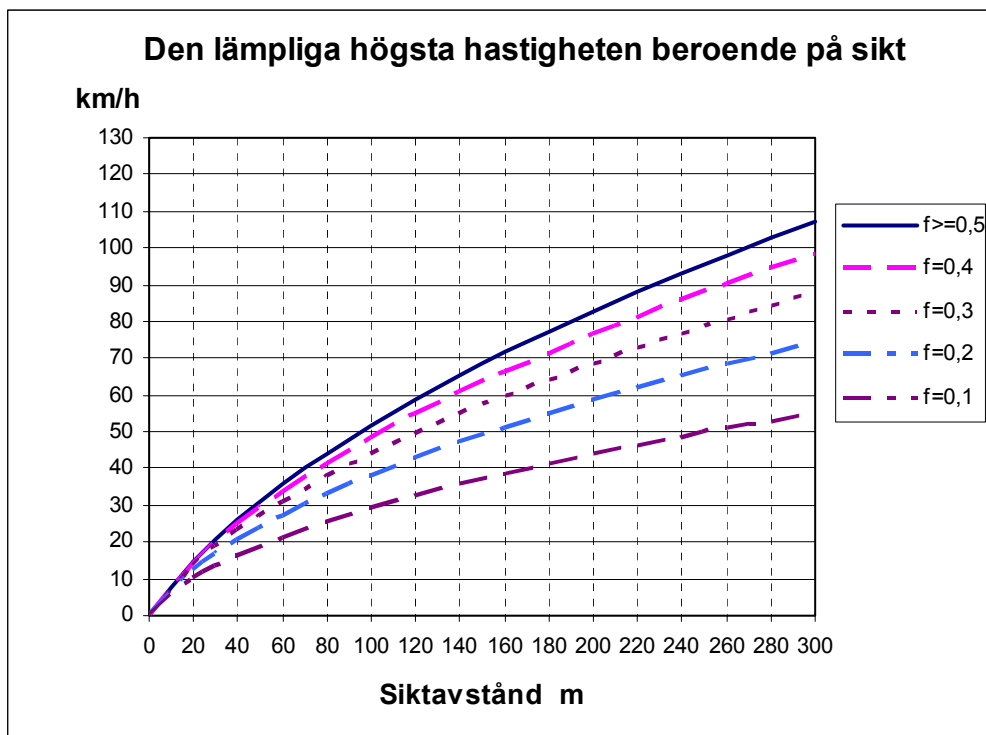


Figur 2. Den lämpliga högsta hastigheten (km/h) på vått- och halt väglag baserat på "konstant stoppsträcka" på horisontell väg ($G=0$).

Av figur 2 framgår att hastighetsnivån som ger samma stoppsträcka vid vått väglag är mellan 82 och 92 % (beroende på friktionsvärdet) av hastigheterna på torrt väglag. På halt väglag är dessa mellan 50 och 74 % av hastigheterna på torrt väglag.

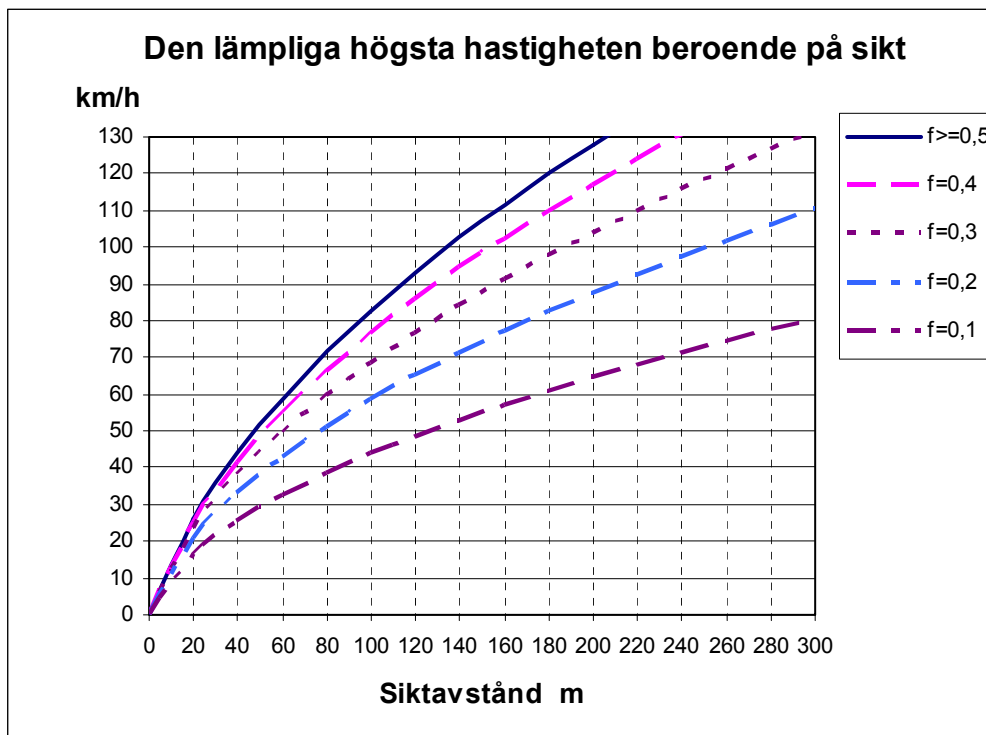
2.2 Nedsatt sikt

Vid nedsatt sikt bör stoppsträckan vara maximum hälften av siktsträckan för att ett mötande fordon (som oväntat kan dyka upp på fel sidan av vägen vid t. ex omkörning) skall kunna stanna om risk för kollision uppstår. Ekvation 2 används för att beräkna den lämpliga högsta hastigheten, där s = hälften av siktsträckan. Om ett mindre strängt kriterium används som föreskriver att fordonet skall kunna stanna om ett oväntat stationärt objekt dyker upp framför fordonet (gäller motorvägar där mötande trafik ej tas med) sätts s = siktsträckan i ekvation 2. Figur 3 visar den lämpliga högsta hastigheten på väg med mötande trafik för ett antal kombinationer av siktsträcka och vägfriktion.



Figur 3. Den lämpliga högsta hastigheten (km/h) vid nedsatt sikt på väg med mötande trafik (kriteriet: fordonet kan stoppas inom halva siktsträckan).

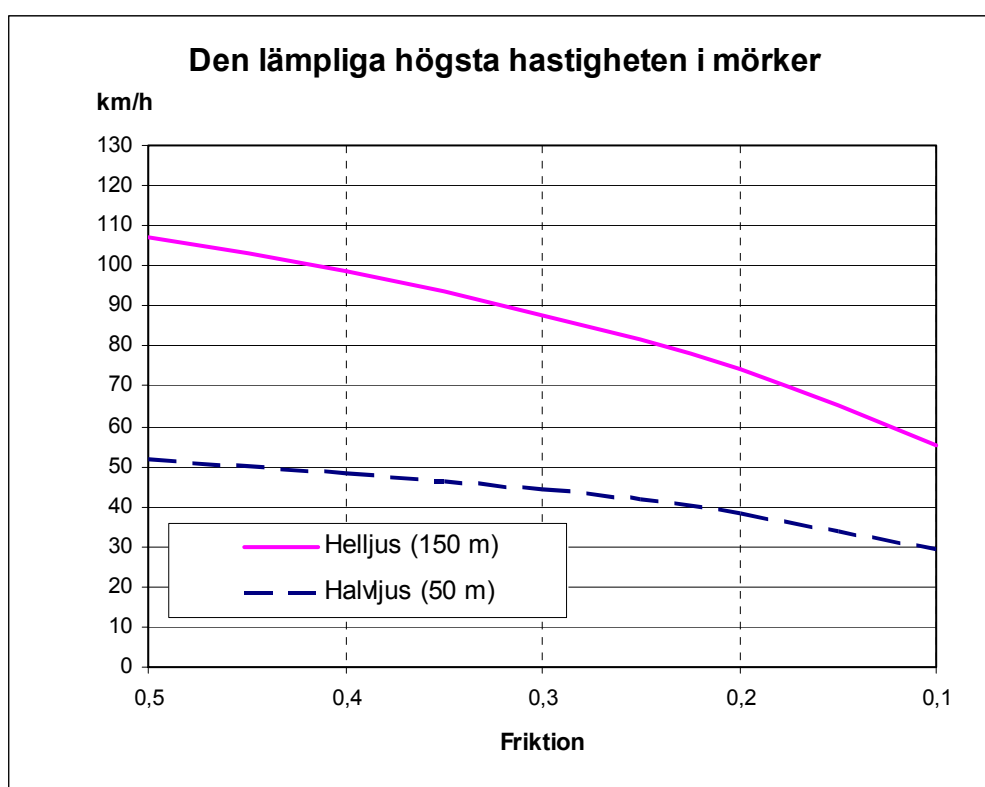
Figur 4 visar exempel på den lämpliga högsta hastigheten på motorväg för ett antal kombinationer av siktsträcka- och friktionsvärden.



Figur 4. Den lämpliga högsta hastigheten (km/h) vid nedsatt sikt på motorväg (kriteriet: fordonet kan stoppas inom siktsträckan).

2.3 Mörker

Kriteriet för beräkning av högsta lämpliga hastighet i mörker bör vara att stoppsträckan skall vara kortare än den belysta siktsträckan så att ett fordon kan stanna för ett stationärt föremål. I praktiken innebär detta ofta att stoppsträckan måste vara kortare än den sträcka som är upplyst av halvljus, vilket motsvarar ca 50 m. På vägar utan mötande trafik och där det inte föreligger någon risk för att bli bländad av mötande trafik (motorvägar), måste stoppsträckan vara kortare än den sträcka som är upplyst av helljus, vilket motsvarar ca 150 m. Den lämpliga högsta hastigheten i mörker beräknas genom ekvation 2 där "upplyst siktsträcka" ersätter "konstant stoppsträcka". Figur 5 visar den lämpliga högsta hastigheten på vägar med olika friktionsvärden och i mörker, baserat på "upplyst siktsträcka".



Figur 5. Den lämpliga högsta hastigheten i mörker vid vilket fordonet kan stanna inom den upplysta siktsträckan på vägar med olika friktionsvärden.

Hastigheten i mörker och med halvljus bör inte överstiga 60 km/h på torrt väglag, 50 km/h per timme på vått väglag och 40 km/h på halt väglag. Med helljus blir motsvarande siffror 110 km/h på torrt väglag, 100 km/h på vått väglag samt 80 km/h på halt väglag. Några av de högsta lämpliga hastigheterna med helljus är högre än lämplig högsta hastighet baserat på konstant stoppsträcka (i figur 2). I dessa fall bör det lägre värdet av de två väljas. Vid färd i mörker med halvljus i hastigheter under 50 km/h så är konstant stoppsträcka det avgörande kriteriet för lämplig högsta hastighet, över 50 km/h så är upplyst siktsträcka det avgörande. Vid färd med helljus på vägar med hastighetsgräns 100 km/h eller lägre så är konstant stoppsträcka avgörande. Vid hastighetsgräns 110 km/h eller högre så är upplyst siktsträcka med helljus kortare än den konstanta stoppsträckan, därför blir det första kriteriet avgörande.

2.4 Kurva

Den högsta hastigheten vid vilken ett fordon kan hållas kvar på vägen vid kurvtagning kan beräknas teoretiskt enligt formeln (Papacostas 1987):

$$v = \sqrt{gR(e + f_s)} \quad (3)$$

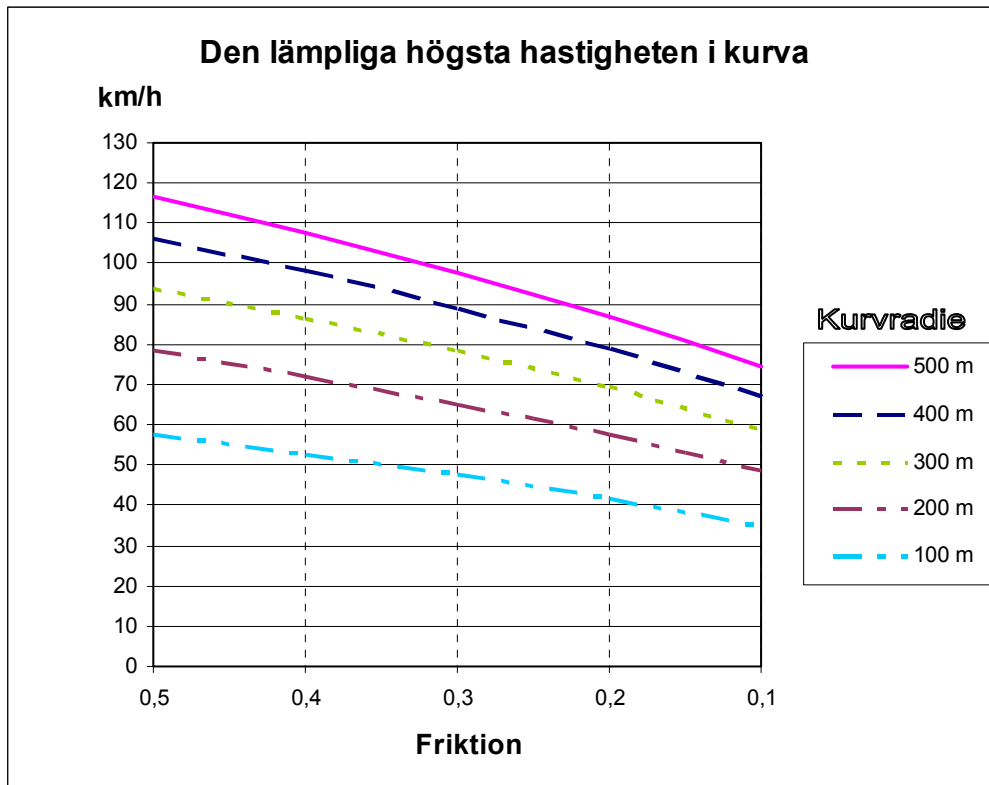
där f_s = koefficient för sidofriktionen
 R = kurvradie (m)
 e = bankningsgrad
 g = tyngdaccelerationen (m/s²)

Den maximalt tillgängliga sidofriktionen är c:a 75% av bromsfriktionen. Det är dock ej lämpligt att använda den maximala sidofriktionen då det skulle innebära att föraren balanserar på gränsen att kunna hålla fordonet på vägen. Det orsakar också sidokrafter som kan bli obekväma. Den lämpliga högsta hastigheten bör beräknas baserat på den acceptabla sidofriktionen. Eftersom sidofriktionen minskar med ökande hastighet, är den acceptabla sidofriktionen vid en hastighetsnivå på 40 km/h c:a 60% av den maximalt tillgängliga, medan vid en hastighetsnivå på 100 km/h är den c:a 45% (Bontell 1983). Förhållandet mellan den acceptabla sidofriktionen och bromsfriktionen för olika hastigheter visas i tabell 4.

Tabell 4. Förhållandet mellan den acceptabla sidofriktionen (f_s) och bromsfriktionen (f) vid olika hastigheter.

Hastighet (km/h)	(f_s / f)*100 (%)
40	45 %
50	43%
60	41%
70	39%
80	37%
90	35%
100	34%
110	32%
120	30%

Figur 6 visar några exempel på den lämpliga högsta hastigheten vid vilken – teoretiskt sätt – skarpa kurvor med olika radier kan tas säkert och bekvämt.

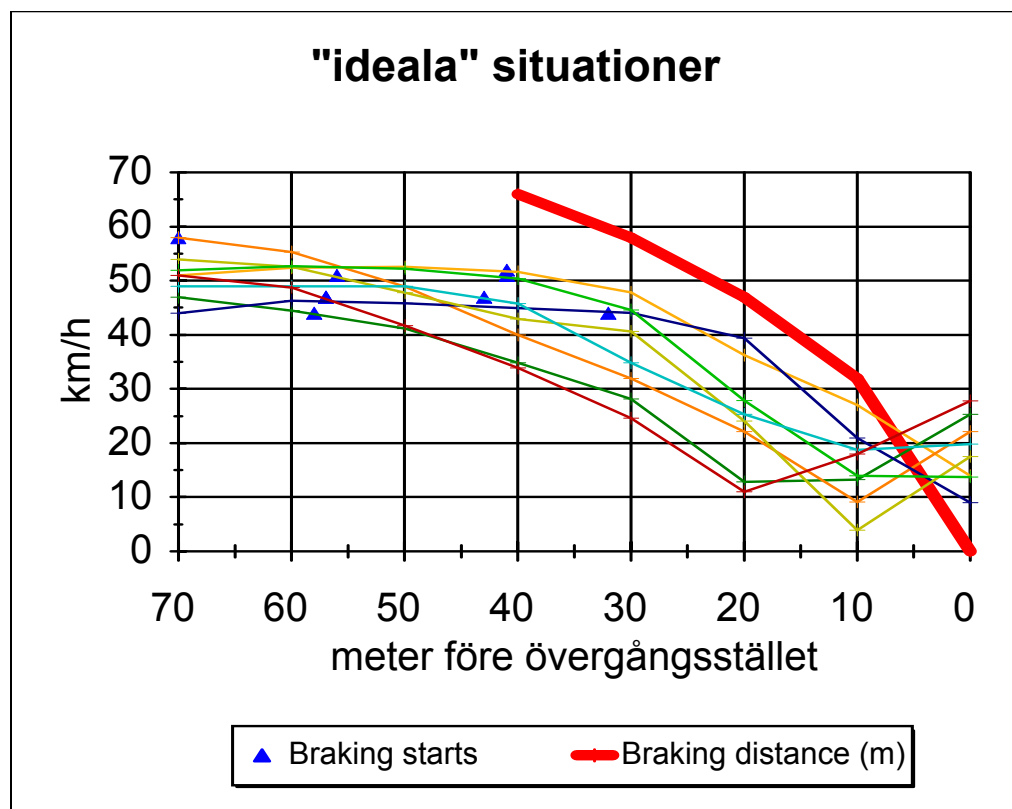


Figur 6. Den lämpliga högsta hastigheten (km/h) för körning genom kurvor med olika radier och friktionsvärden (bankningsgrad $e = 0,055$).

2.5 Övergångsställe, skolområde

I tätbebyggt område där motorfordon och oskyddade trafikanter delar samma ytor bör principen för hastighetsanpassning vara att fordonshastigheter ej överskrider 30 km/h vid interaktion med oskyddade trafikanter. Det skulle innebära att kollisionshastigheter som regel skulle bli ännu lägre och risken att olyckor vid så låga hastigheter skall resultera i svåra eller dödliga skador är ganska låg. Dessutom så blir interaktionen mellan fordon och oskyddade trafikanter mer rättvis. Särskilt farliga platser där fotgängare och cyklister interagerar med motorfordon är korsningar, övergångsställen, utanför skolor etc.

För att uppnå ett idealt hastighetsbeteende före ett övergångsställe bör föraren informeras om den lägre hastigheten som krävs (högst 30 km/h) minst 50 m före övergångsstället så att han/hon hinner sakta in med en normal retardation ($4,5 \text{ m/s}^2$) till 30 km/h c:a 10 m före övergångsstället. Hastighetsgränsen 30 km/h skall bibehållas tills övergångsstället är passerat. Figur 7 nedan bygger på observerade beteenden hos bilförare som självmant sänkte hastigheten i god tid före övergångsstället då en fotgängare befann sig vid övergångsstället – så kallade "ideala" situationer (Várhelyi, 1998). Som det framgår i figur 7 påbörjar bilförarna hastighetssänkningen 55 – 40 meter före övergångsstället i dessa situationer och når en hastighetsnivå under 20 km/h 20 - 4 meter före övergångsstället. Det är viktigt ur fotgängarens trygghetssynpunkt att fordonet når en låg hastighet c:a 10 m före övergångsstället så att inga tveksamheter uppstår som t.ex. vid en häftig och sen inbromsning.



Figur 7. Hastighetsprofiler som visar "ideal" hastighetsbeteende för personbilsförare före övergångsställe då fotgängare befinner sig vid övergångsstället (baserat på Várhelyi, 1998).

På dessa platser skulle ett fordonsbaserat hastighetsanpassningssystem fungera som ett elektroniskt gupp, vilket innebär att fordonen skulle tvingas att sakta ner oberoende av om fotgängare var närvarande eller ej. Ett mer sofistikerat alternativ skulle innebära att fotgängares närvaro skulle detekteras, antingen av vägsides utrustning eller också fordonsbunden utrustning, och fordonens hastighet skulle endast begränsas då oskyddade trafikanter fanns i närheten. Sådana system skulle kunna användas där antalet oskyddade trafikanter var lågt (städers ytterområden, vid lågtrafik som t.ex. nattetid) där det inte är önskvärt att sänka hastigheten generellt samt där det vore enklare att detektera oskyddade trafikanter på kollisionskurs med motorfordon. Då en fotgängare är närvarande bör en varningssignal ges när fordonet kommer inom "bromssträcka minus tre sekunder" av korsningen (se figur 7). Detta motsvarar ca 65 meter innan korsningen vid 50 km/h. Om föraren inte börjar bromsa inom två sekunder kommer den dynamiska hastighetsbegränsaren att bromsa in fordonet med en normal retardation ($4,5 \text{ m/s}^2$) till 30 km/h enligt "bromssträcka minus en sekund" i figur 7. Detta motsvarar ca 36 meter innan korsningen vid 50 km/h. Vid dessa situationer skall hastighetsgränsen 30 km/h bibehållas tills övergångsstället är passerat.

2.6 Vagarbetsplats / Olycksområde

Vid vägarbeten bör hastigheten förbi själva arbetsplatsen, det vill säga där arbetarna huvudsakligen uppehåller sig, ej överstiga 30 km/h. Det skulle innebära att hastigheten vid en eventuell kollision som regel skulle bli ännu lägre och risken att olyckor vid så låga hastigheter skall resultera i svåra eller dödliga skador är ganska låg. Idag är hastigheten ofta satt till 50 km/h förbi arbetsplatser och det är en hastighet som upplevs som för hög av vägarbetarna medan bilister ofta upplever den som för låg (Bolling och Nilsson 2001). Efterlevnaden av hastighetsgränsen är därför ofta låg, upp till 31 % av trafikanterna överskred denna i en studie av hastigheter vid vägarbeten (Ibid 2001). Ett problem som trafikanterna upplever är att hastigheten ofta är sänkt över långa sträckor utan att några arbetare eller maskiner uppehåller sig i närheten (Ibid 2001). För att uppnå 30 km/h på kritiska punkter bör hastigheten regleras till 50 km/h eller till och med 70 km/h på sträckor som ej är kritiska, i synnerhet vid vägarbeten som sträcker sig över flera kilometer. Vilka punkter som är kritiska längs ett längre vägarbete ändras dynamiskt allt eftersom arbetet fortskrider. Således måste hastighetsgränsen kunna ändras av ansvarig arbetsledare.

Vid en eventuell olycka är det viktigt att få ner hastigheten på platsen. Samma principer bör tillämpas som vid vägarbete, dvs. max 30 km/h där sjukvård eller uppröjningsarbete pågår.

2.7 Korsning

I moderna krocksäkra bilar klarar man nästan alltid en sidokollision i ca 50 km/h under förutsättning att man använder bälte och man blir påkörd av en annan personbil (Carlsson, 1999). I korsningar med endast biltrafik bör alltså hastigheten sättas till max 50 km/h. Om även oskyddade trafikanter förekommer i korsningen bör hastigheten inte överskrida 30 km/h, se kapitel 2.5.

2.8 Risk för flödesstörning

Flödessammanbrott på grund av alltför hög täthet skulle kunna undvikas genom att vid höga tätheter rekommendera sänkt hastighet. Utgångspunkten för detta antagande är trafikens allmänna tillståndslag. Analysprocedurer av hastighets-, flödes-, täthets samband för olika vägtyper baseras på förhållanden mellan dessa variabler under ideala trafik- och vägförhållanden. Hastighet, flöde och täthet har följande samband:

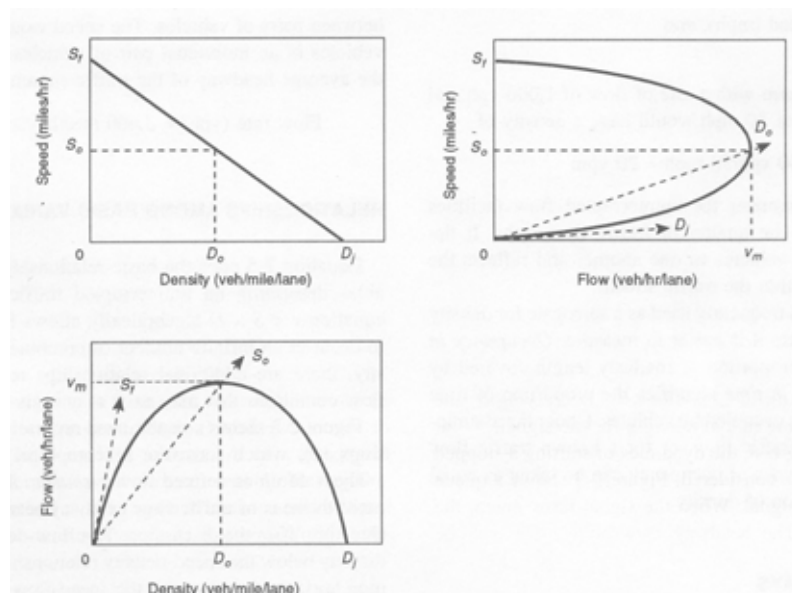
$$v = S * D$$

där: v = flöde (fordon per timme eller fordon per timme per körfält)

S = medelhastighet (km/h)

D = täthet (fordon per km eller fordon per km per körfält)

Figur 8 illustrerar den generella formen för tvådimensionella förhållanden mellan flöde och hastighet, flöde och täthet, samt hastighet och täthet. Förhållandet mellan hastighet och täthet minskar monotont, d.v.s. med ökande täthet minskar hastigheten. Flödet är noll när antingen hastigheten eller tätheten är noll. Hastigheten blir noll när tätheten blir så hög att all rörelse stannar. När tätheten är noll finns det inga fordon på vägen. Mellan dessa två extrema fall utvecklas ett toppigt förhållande. Med ökande täthet från noll ökar flödet samtidigt som hastigheten minskar p.g.a. interaktion mellan fordonen. Denna minskning är närmast negligerbar vid låga och medelstora täthet och flöden. När tätheten fortsätter att öka minskar hastigheten kraftigare innan kapaciteten är nådd. Kapaciteten är nådd när produkten av täthet och hastighet ger högsta flöde. Detta tillstånd visas som **optimal hastighet** S_0 (kallad även **kritisk hastighet**), **optimal täthet** D_0 (även kallad **kritisk täthet**) och maximal flöde v_m (**kapaciteten**) i figur 8. I teoretiskt arbete används oftast hastighet-täthet funktionen. Hög täthet – låg hastighet sidan av kurvan representerar tvingad eller sammanbrottsflödet. Plötsliga förändringar i trafikillståndet kan förekomma. Sidan "Låg täthet – hög hastighet" i kurvan representerar fritt flödestillstånd.



Figur 8. Generaliserade förhållanden mellan hastighet, täthet och flöde i obrutna flöden (TRB 1994).

Ett aktivt hastighetsvisningssystem skulle syfta till att genom dynamisk hastighetsvisning undvika situationer som leder till snabba hastighetsminskningar i tät trafik. I de allra flesta fall torde aktiva system för att undvika köer bestå av system för trafiksignalreglering och påfartskontroll. Svårigheten med ett aktivt hastighetsvisningssystem är att kalibrera systemet så att det inte begränsar framkomligheten i stället för att ökar den. För att kunna etablera och matematiskt beskriva de faktiska förhållandena för en enskild vägsträcka är observationer av dessa parametrar i fält nödvändiga. Den ekonomiska ramen för detta arbete tillåter inte att genomföra sådana observationer.

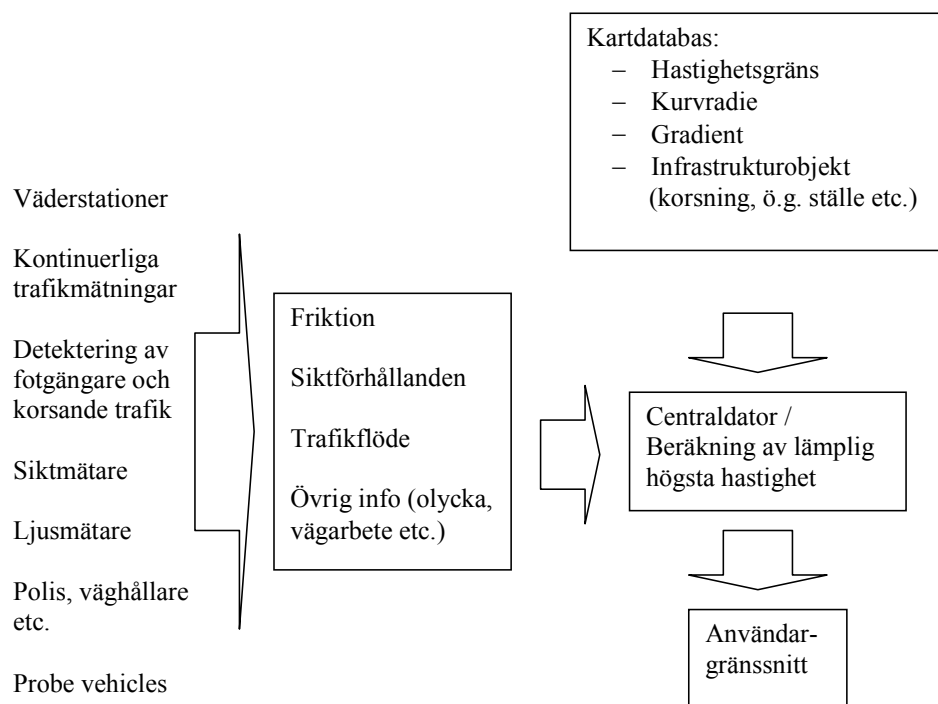
3 Påverkan på förarens hastighetsval

Systemet för påverkan av förarens hastighetsval kan baseras på vägsidesinformation med hjälp av omställbara skyltar med information om hastighetsgräns eller rekommenderad hastighet eller fordonsbaserat med information i bilen via display, feedback eller hastighetsbegränsare.

3.1 Förslag på systemutformning

Nedan (figur 9) ges ett förslag på hur ett system för dynamisk hastighetsanpassning kan se ut, från indata till användaren. Dynamisk indata till systemet kommer från sensorer längs vägkanten såsom väderstationer och mätstationer för trafikflöde, men information måste även kunna matas in manuellt av t.ex. polis eller väghållare. Indata kan även komma från probe vehicles, dvs. fordon utrustade med sensorer och positioneringsutrustning som rör sig ute i trafiken och kontinuerligt registrerar körförhållandet. Om körförhållanden registreras som annat än normala rapporteras detta in till en centraldator. Exempel på sensorer som kan förekomma på probe vehicles är friktionsmätare (optiska eller via bilens ABS-sensorer), siktmätare och ljusmätare. Från dessa datakällor genereras dynamisk data om friktion, siktförhållanden, trafikflöde samt ev. information om olycka, vägarbete etc.

Dynamisk data behandlas därefter i en centraldator tillsammans med statisk data från en kartdatabas och den lämpliga högsta hastigheten beräknas. Lämplig högsta hastighet förmedlas därefter till användaren via lämpligt användargränssnitt.



Figur 9. Förslag på principutformning av ett system för dynamisk hastighetsanpassning från indata till användaren.

Indata överförs från mätstationer och den mobila siktsträcksmätaren i "probe vehicles" till styrcentralen via SMS system. Styrdata från centralen till variabla hastighetsskyltar vid vägkant samt till testfordon överförs via SMS. Fordonen förses med GPS dels för att kunna bestämma var fordonet mäter siktsträcka och dels för att kunna ange den lämpliga högsta hastigheten på sträckan där fordonet befinner sig.

Gränssnittet till användaren (föraren) kan indelas i tre kategorier:

- informativa system; system som informerar föraren om lämpligt hastighetsval men lämnar beslutet till föraren (Variabla hastighetsgränser vid vägsida eller via display i fordon).
- Feedback system i fordon; system som varnar föraren om lämplig högsta hastighet överskrids genom visuell, audiel eller haptisk feedback.
- Intervenerande system; system som begränsar fordonets hastighet och därigenom tar bort möjligheten från förare att överstiga hastighetsgränsen, men även dynamiskt ändrade gränser beroende på rådande förhållanden.

Beroende på användargränssnitt kan systemutformningen i figur 9 se något annorlunda ut. T.ex. kommer en del av kartfunktionerna att finnas i bilen snarare än i centraldatorn för fordonsbundna system.

Idealiskt är användargränssnittet utformat på ett sådant sätt att föraren lär sig uppskatta systemet så att ett minimum av varningar och rekommendationer ges och antalet ingripanden av akuta säkerhetsorsaker minimeras. Generellt kan motståndet mot introduktion av informativa system förväntas vara litet. Realtidinformation om lämpliga hastigheter verkar vara viktigt för förare. En undersökning bland förare i USA identifierade och rankade den relativa prioriteringen av resandes behov av avancerade informationssystem. Bland 21 system på reseplanering, reserådgivning, resetjänster, säkerhet & varning, vägvisning och räddningstjänster var den högsta relativa prioriteringen angiven till "medicinsk- räddningsservice" efterföljda av "information om lämplig hastighet för gällande förhållande" och "kollisionsvarning" (FHWA 1997). Förmodligen kommer det att vara annorlunda med registrerande system (p.g.a. "storebror ser dig" rädslan) och intervenerande system vilka tros inskränka förarens frihet. Men, det finns skillnader mellan attityder baserade på förväntningar och attityder baserade på upplevelser (Levelt 1997), acceptansen kan därför ändras efter provkörning av ett system. Almqvist & Nygård (1997) fann bland annat att acceptansen av en hastighetsbegränsare ökade efter att testförare hade fått pröva utrustningen under två månader. Enligt Nilsson (1996) kan det antas att system som ökar säkerhet och effektivitet, är pålitliga och användarvänliga och inte används för kontroll av förare kommer att vara gradvis accepterade.

3.2 Variabla hastighetsskyltar

Visning av rekommenderad hastighet respektive variabel hastighetsgräns kan ske (Kronborg m.fl. 2002):

- Inför ett köslut,
- Inför ett vägarbete eller annat hinder,
- Vid tät trafik,
- Vid dåligt väglag eller dålig sikt.

Det finns i dag några system i Sverige som informerar trafikanterna om rekommenderad högsta hastighet (Kronborg m.fl. 2002):

- Motorvägsstyrning, Stockholm (MCS),
- Tunnelstyrning i Lundbytunneln, Göteborg (MTM- Motorway Traffic Management),
- Säkereken på E22, Blekinge.

Dessa system är placerade i områden med hög trafikbelastning och/eller stor känslighet för störningar. I Europa finns motorvägsstyrning framförallt i Holland.

Rekommenderade hastighetsgränser har använts vid farliga platser (t.ex. vid snäva kurvor där föraren är medveten om diskontinuiteten men han är osäker vid vilken hastighet han skall passera den, samt under kritiska förhållanden, såsom dimma eller regn på vissa vägar i Storbritannien). Systemet är baserat på förtroende för förare och överträdelse av den rekommenderade hastighetsgränsen leder inte nödvändigtvis till bot. I en studie (Webb 1980), mätte man effekten på hastigheter av omställbara skyltar som visade 50 mph rekommenderad hastighetsgräns i både vått och torrt väder. När hastighetsgränsen visades, minskade medelhastigheten i torrt väder från 72.1 mph till 67.2 mph (dvs. med 6.8%) och i vått väder från 70.6 mph till 67.9 mph (dvs. med 3.8%). Tunga fordon påverkades lite av signalen - deras hastighet var mycket högre än den rekommenderade hastighetsgränsen. Slutsatsen från studien var att när förarna inte informeras om orsaken till begränsningen har rekommenderade hastighetsgränser liten effekt på medelhastigheter. Rämä m.fl. (1996) undersökte effekterna av omställbara skyltar i Finland. Skylten bestod av en "halt väglag" symbol med en snöflinga ikon och variabel rekommenderat följevstånd, beroende på väglag. Den hastighetsminskande effekten av skylten var c:a 2 km/h när skylten blinkade, och c:a 1 km/h när skylten lyste konstant. Varaktigheten av skyltens hastighetseffekt var c:a 3 kilometer. Den blinkande skylten påverkade farten upp till 14 km efter skylten. Under nästa vinter, var effekterna c:a en tredjedel mindre, vilket kan bero på "avmattning" av skyltens "nyhetseffekt".

I en studie över väderstyrd VMS fann Rämä (2001) att en omskyltning från 100 km/h till 80 km/h vid halt väglag gav en sänkning av medelhastigheten med 3,4 km/h och en omskyltning från 120 km/h till 100 km/h gav en sänkning av medelhastigheten med 5,1 km/h. Denna sänkning av medelhastigheten innebär naturligtvis en förbättrad trafiksäkerhet, men, konkluderar Rämä, sänkningen är inte tillräckligt stor för att motverka den ökade risken som uppstår genom försämrat väglag och minskad friktion. Den största effekten på hastigheten uppnåddes 500 – 1 100 meter efter skylten. Om skylten var kompletterad med en tilläggsskylt som varnade för t.ex. halt väglag så ledde det även till en ändrad fokus hos förarna genom att de började söka av trafikmiljön mer aktivt efter den fara som skylten varnade för.

Variabla (obligatoriska) hastighetsgränser kopplade till trafikmängdsdetektorer på motorvägar i en ansträngning att göra trafikflödet mer stabilt, visade uppmuntrande resultat (Nuttall 1995). När det holländska motorvägskontrollsystemet MCSS togs i drift angavs olycksbegränsning och kapacitetsökning som motiv för dynamisk hastighetsvisning (Klijnhout 1984). Vissa framgångar uppnådde man med omställbara skyltar i dimma (Balz och Zhu 1994; Hogema och Van der Horst 1997). Men, i ytterst låg sikt, när den indikerade hastighetsgränsen var högre än hastigheten förarna själva valde utan systemet, var medelhastigheten högre med systemet vilket kan vara tecken på en negativ beteendeeffekt i form av delegering av ansvar. Pajunen och Mänttari (1993) fann ganska liten effekt av sänkta hastighetsgränser beroende på halt väglag och dålig sikt. Omställbara hastighetsskyltar var mer effektiva än traditionella hastighetsskyltar med en tillägsskylt med perioden av giltighet (Hansén och Hydén 1976). En Finsk acceptansstudie på väderstyrda variabla (obligatoriska) hastighetsskyltar (kombinerade med en variabel informationsskylt visande halt väglag) visade att 95 % av intervjuade förare fann varierande hastighetsgränser enligt rådande vägtillstånd användbara (Rämä och Luoma 1997). De oftast förekommande fördelar nämnda av förare var säkerhet (55 %) och förbättrat trafikflöde (30 %). Förare kunde minnas variabla skyltar något bättre än vanliga (fixa) hastighetsgränsskyltar. Men, ”bara en relativt liten proportion av förare har uppgett att halt väglag skylten påverkade deras beteende”.

En jämförelse mellan olika metoder för att reducera hastigheten före kurvor visade att VMS skyltar sänkte hastigheten med ca 6 km/h jämfört med om förarna inte fick någon information alls (Comte och Jamson 2000). Samma studie visade också att information till föraren via en display i bilen hade ungefär samma effekt samt att störst effekt hade en hastighetsbegränsare. Hastighetsbegränsaren hade dock inte lika hög acceptans som de övriga systemen.

En bieffekt från VMS har visat sig vara att de kan öka medelhastigheten om de skyltar en hastighet högre än medelhastigheten. De har även visat sig vara så effektiva att de kan ta uppmärksamheten från stationära skyltar eller omgivande trafik (Rämä 2001). En rekommendation är således att noggrant överväga placeringen av VMS så att de inte tar uppmärksamheten från korsningar, övergångsställen etc.

3.3 Fordonsbaserade system

Fördelen med fordonsbaserade system för hastighetsanpassning jämfört med vägsides utrustning är att även andra lösningar än visuell feedback kan användas. Dessa lösningar kan vara audiella eller taktila. De olika lösningarna har olika fördelar och nackdelar, men vid bilkörning måste föraren koncentrera sig på vägmiljön i vilket den visuella informationsbearbetningen dominerar. Om föraren måste konsultera en display i fordonet kan det ta hans uppmärksamhet från viktigare saker. Visuella information kan öka förarens arbetsbelastning och om ett meddelande kommer upp i en situation när föraren redan är belastad med informationsbearbetning kan den extra visuella informationen om den lämpliga högsta hastigheten orsaka överbelastning. Detta kan medföra att föraren försummar antingen hastighetsmeddelandet eller någon annan viktig visuell information. Om en trafikant just då är på kollisionskurs kan informationsmissen bli ödesdiger. I en Holländsk undersökning på självrapporterade beteendemisstag föregående olyckor fann man att ”tittade åt fel håll” var det mest frekvent förekommande misstaget (i 217 av 455 olyckor) bland de svarande bilförarna (Kuiken 1996). I en litteraturundersökning på feedback till förare fann Kuiken (1996) att med de redan omfattande kraven på bilförarens visuella kapacitet, borde feedback huvudsakligen vara audiell (verbal) eller taktill. Audiella meddelanden är mer intrusiva och svårare

att ignorera än visuella. Enligt Horowitz och Dingus (1992) föredrar piloter en audiell varning om en omedelbar reaktion är nödvändig, medan de föredrar en visuell varning när det finns mer tid för att agera. Verbala meddelanden är bekväma och flexibla för att förse föraren med information, men föraren kan inte dra nytta av den verbala informationen om de interfererar med bearbetningsprocessen av relevant trafikinformation. Ytterligare information kan även öka förarens mentala belastning. I sådana situationer kan taktila meddelanden (t.ex. feedback via gaspedalen) vara effektivare. Fordonsbaserade system för hastighetsanpassning kan ha olika funktioner, såsom: a) information, b) feedback, c) registrerande och d) hastighetsbegränsare.

Utformningen av användargränssnitt av intelligenta transport system (ITS) är av avgörande betydelse som har visats i flera studier (se t.ex. Nilsson, 1996). System bör underlätta förarens uppgift och inte öka hans arbetsbelastning eller producera några andra störningar.

Flera studier om olika system för hastighetsanpassning, baserad på ny teknologi, visar att acceptansen av sådana system är tämligen bra. SARTRE studien av europeiska förarens åsikter i 16 länder (Dahlstedt 1994) visade att var c:a 46 % av respondenterna var positivt inställda till utrustning för hastighetskontroll i bilar "när föraren är fri att koppla in eller ur den" medan c:a 42 % var mot. När ett sådant system "gör det omöjligt för alla bilar att överskrida en viss hastighetsgräns" var c:a 35 % positivt inställda och 49 % var emot.

En enkätundersökning bland svenska körkortsinnehavare (Várhelyi 1995) visade att majoriteten av respondenterna var positiva till en utrustning i bilen som automatiskt sänker den maximalt möjliga hastigheten av bilen vid halka och nedsatt sikt, medan en generell hastighetsbegränsare som förhindrar överskridandet av hastighetsgränsen accepterades av en tredjedel. Men, man måste vara klar över att acceptansen är en process och inte ett oföränderligt tillstånd.

3.3.1 Information i fordon via display

Experiment med förbättrad information om verklig hastighet till föraren har gett blandade resultat. En head-up display (HUD) hastighetsmätare, som ger kontinuerlig information om hastigheten till föraren i hans normala synfält, kan förbättra hastighetsbeteendet och öka säkerheten då varje titt på konventionell hastighetsmätare tar i medeltal 1.5 sekunder vilket kan vara farligt i vissa situationer. Rutleys (1975) experiment med sådan hastighetsmätare i samband med rekommenderade hastighetsskyltar vid snäva kurvor visade bättre efterlevnad med skyltad hastighetsgräns när fordonet var utrustat med HUD-hastighetsmätare än när konventionella hastighetsmätare användes. Även Sojourner och Antin (1990), fann att en HUD hastighetsmätare i allmänhet förbättrade prestationen av den perceptuella föraruppgiften i en simulerad miljö. Men, som Ward och Parkes (1994) påpekar, man skall vara varsam så att HUD inte skapar distraktion eller överbelastning på förare i komplexa körsituationer.

Ett svenskt fältförsök med kontinuerlig information om den gällande hastighetsgränsen via display under hastighetsmätaren visade att medelhastigheten med systemet var 72 km/h och utan systemet 70 km/h, en statistiskt icke-signifikant ($p > 0.05$) ökning (Nilsson och Berlin 1992). Efterlevnaden av hastighetsbegränsning vid en 30 km/h zon utanför en skola var obetydligt bättre utan systemet. Antalet titt på instrumentbrädan var i medeltal 3 gånger högre när man körde bilen med displayen jämfört med utan. Man konkluderade i studien att systemet var ineffektivt och kan öka olycksrisken om det distraherar föraren och hastigheten ökar. I en annan svensk fältstudie (Almqvist och Towliat 1993) överfördes information om gällande hastighetsgräns,

varning för fotgängare, skarpa kurvor och vägarbete såväl som hastighetsrekommendationer till testbilen och visades kontinuerligt för föraren. Under testkörning, beslutade föraren om han ville åtyda den visade hastighetsgränsen eller inte. Resultaten visade att överträdelser mot hastighetsgränsen var ofta förkommande när man körde med systemet.

3.3.2 Feedback i fordon

Experiment med feedback vid fel hastighetsval har visat uppmuntrande resultat men det finns fortfarande frågor kvar att besvara. En jämförande simulatorstudie med audiella meddelanden i form av "Direkt feedback" som indikerade om ett fel just har begåtts, "Prospektivt stöd" som meddelade att ett sådant fel begicks förra gången när föraren var i ett likadant läge han möter igen och "Samlad feedback" som summerar upp förarens fel under testkörningen visade att lägst antal och minst fel begicks i "Direkt feedback" mode. Men, även om andelen kurvor där fel hastighetsval gjordes minskade från 96% till 54% med "Direkt feedback" var andelen fel fortfarande hög. Man hittade inga bevis i studien att denna sort av förarstöd skulle öka förarens mentala belastning (Kuiken 1996). När verbal "Direkt feedback" och "prospektivt stöd" med realtid haptisk feedback via en aktiv gaspedal jämfördes i ett annat simulatorexperiment fann man att "Direkt feedback" har den starkaste och de flesta vidgående effekter jämfört med "prospektivt stöd" eller "haptisk feedback". Man konkluderade att längre tester med längre testperioder borde inriktas på att kunna dra några slutsatser om systemets effekter på förarens arbetsbelastning (Kuiken 1996).

I DRIVE/DETER projektet (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe / Detection, Enforcement and Tutoring for Error Reduction) utvecklade man en prototyp av stödsystem som kunde ge feedback, varning eller stödmeddelanden till föraren. I en körsimulator försåg man testförare med audiella och visuella stödmeddelanden vid avvikande beteende från det lagligt tillåtna. Vid hastighetsöverträdelse (överskridande av hastighetsgränsen med minst 5 %) gavs ett meddelande "Du kör för fort, gällande hastighetsgräns är 50 [eller 80 eller 100]" via antingen (1) en digital kvinnlig röst, (2) text projicerad på simulatorskärmen. Resultaten visade att förarna var mer laglydiga med det stödjande systemet. Man fann inga skillnader mellan de olika moden, dvs. audiella och visuella meddelanden var lika effektiva med att öka efterlevnaden. Men, den mentala belastningen ökade något när föraren mottog feedback. Förarnas åsikter om systemets användbarhet var positiva. Experimentet visade att det testade stödsystemet välkomnades endast av äldre förare, som redan kör säkrare än genomsnittsföraren, även utan systemet. Yngre förare litar inte på systemet, och anpassar sitt beteende endast så länge systemet är i funktion (De Waard m.fl. 1994 och 1998).

Även De Waard och Brookhuis (1997), fann, både i ett fältförsök och i körsimulator experiment, att stödfunktion hade positiva effekter på lagatlydnad. Minskningen i överträdelser skedde dock på bekostnad av en moderat ökning i mental belastning. För att undvika varningsmeddelanden, är en beteendeanpassning nödvändig vilket kräver noggrannare övervakning av vägmiljön och hastighetsmätaren. Acceptansen av systemets stödfunktion var hög.

Brookhuis och de Waard (1996) studerade effekterna av kontinuerlig feedback av skyltad hastighetsgräns via en display på testbilens instrumentpanel i normal trafik. Närhelst hastighetsgränsen överstegs ändrades färgen som hastighetsgränsen visades i från grönt ("normal/neutral") till gult ("varning") och ifall hastighetsgränsen överstegs med mer än 10 % ändrades färgen till röd ("överträdelse") och en extra audiell varningsmeddelande: "Du kör för fort, den lokala hastighetsgränsen är ..." gavs. I samma studie fick förarna som översteg

hastighetsgränsen haptisk feedback via gaspedal i en körsimulator. Haptisk feedback bestod av ett oavbrutet mottryck i gaspedalen beroende på omfattningen av överträdelsen. Om hastighetsgränsen överstegs med mer än 10 % fick föraren samma röstmeddelande som i fältförsöket. Resultaten visade att testförarna i försöksgruppen betedde sig mer enligt trafikreglerna, i synnerhet vad gällde efterlevnad av hastighetsgränserna än testförarna i kontrollgruppen. Hastigheterna minskade tydligt i de experimentella förhållanden i de fall där testförarna tenderade att klart överskrida hastighetsgränsen, dvs. i 50 km/h zoner. Det var också tydligt att några testförare använde systemet med kontinuerlig feedback till att hålla sin hastighet inom marginalen "hastighetsgräns till gräns+10 %" (gult). En effekt av detta var en märkbar minskning i hastighetsvariation, vilket bidrar till harmoniseringen av flödet. Displayen var det mest accepterade systemet följt av haptisk pedal feedback och audiell feedback. Inga effekter på förarbelastning kunde upptäckas i experimentet.

Användaracceptansen av en så kallad "fartkollare" har undersökts i tre studier i Sverige, två i Umeå och en i Borlänge. I det ena försöket i Umeå utrustades 100 fordon med systemet (Vägverket 1997) och i det andra utrustades närmare 4 000 fordon (Vägverket 2002). I Borlänge testades systemet på 400 fordon (Vägverket 2002). Fartkollaren är ett elektroniskt tillbehör, monterad på fordonets instrumentbräda, och som signalerar med ljus och ljud om föraren överstiger hastighetsgränsen. Generellt, var testförarna nöjda med systemet. Mer än hälften av de svarande uppgav att det hade blivit lättare att hålla hastighetsgränsen, i synnerhet på 30 km/h med en fartkollare aktiverad i bilen. De deklarerade även att de var mer alerta för 30 km/h gränser generellt. Hastighetsmätningar på vägnätet i Umeå visade också att de 4 000 fordon ledde till en generell minskning av medelhastigheten. Loggning av hastighet i Borlänges fordon visade även det på en signifikant sänkning av hastigheten.

Ett försök med en aktiv gaspedal i Lunds tätort visade på goda säkerhetseffekter, risken för olyckor med svårt skadade eller dödlig utgång beräknades minska med ca 20 % (Várhelyi m.fl. 2002). Den aktiva gaspedalen genererar ett mottryck när föraren försöker överskrida hastighetsgränsen, det finns dock möjlighet att "gasa igenom" mottrycket vilket skiljer den från de intervenerande systemen nedan. Utvärderingen visade att medelhastigheten sjönk väsentligt på infatsgator och huvudgator medan den var oförändrad på centralgator (medelhastigheten var där redan lägre än hastighetsgränsen). Acceptansundersökningar visade att testförarna föredrog den aktiva gaspedalen före infrastrukturåtgärder såsom väggupp och avsmalningar samt att de ansåg den var ett av de effektivare metoderna för att dämpa hastigheten. Undersökningarna visade även på vikten av ett väl fungerande användargränssnitt då acceptansen var lägre hos ett antal förare som hade haft problem med utrustningen.

3.3.3 Intervenerande system i fordon

Ett intervenerande system för påverkan av hastighetsval tillåter inte att den lämpliga högsta hastigheten överskrids. Systemet har följande funktioner:

- Ställa in hastighetsbegränsaren konstant på den maximalt tillåtna hastigheten.
- Informera föraren visuellt och/eller audiellt och med ett gradvis ökande mottryck i gaspedalen när den ökande hastigheten av fordonet kommer nära gränsen.
- Informera föraren visuellt och/eller audiellt och med ett gradvis ökande mottryck i gaspedalen när den maximalt tillåtna hastigheten ändras till en lägre nivå.

Hastighetsbegränsaren är en aktiv gaspedal vilken ger ett mottryck närhelst föraren försöker gasa över en förbestämd hastighetsgräns. Motståndet i pedalen är tillräckligt för att påminna föraren av hastighetsgränsen, och den extra ansträngningen som är nödvändig för att kunna köra fortare är tillräcklig för att avskräcka honom från överskridande av hastighetsgränsen. Hastighetsbegränsaren inskränker även motorns bränsleinsprutning när fordonet når hastighetsgränsen. Fordonets prestation i övrigt påverkas inte vid hastighetsnivåer under den inställda maximihastigheten. Sådana tillbehör är redan installerade på vissa typer av fordon såsom mopeder, traktorer och, i några europeiska länder, på långtradare och bussar.

Det första försöket med hastighetsbegränsare i personbil genomfördes i Frankrike (Saad och Malaterre 1982). Testföraren kunde själva ställa in hastighetsgränsen, vilken han sedan inte kunde överstiga om han inte stängde av utrustningen. Förarna försökte anpassa sin hastighet i förhållande till trafiksituationen runt dem. För att "flyta med" andra bilar, var de tvungna att stänga av hastighetsbegränsaren ganska ofta vilket rapporterades som fysiskt tröttande. De fann det svårt att hålla hastighetsgränsen på 60 km/h och 80 km/h vägar. På 90 km/h vägar berodde användandet av utrustningen på trafikvolym, så att en högre volym resulterade i frekventa ändringar av hastighet och därför mindre användning av hastighetsbegränsaren. På vägar med hastighetsgräns 110 km/h och 130 km/h där monoton körning var mer vanlig, användes utrustningen oftare. De flesta förare ställde in topphastigheten på hastighetsbegränsaren märkbart över hastighetsgränsen och man fann att om hastighetsgränsen på en väg minskade, ökade skillnaden mellan den satta gränsen och vägens hastighetsgräns. På kortare vägsträckor med en lägre hastighetsgräns, t.ex. genom byar eller kurvor, ställde förarna inte om hastighetsbegränsaren till den lägre gränsen. I kunskap om att hastighetsbegränsaren minskade fordonets tillgängliga accelerationsförmåga avstod förarna i några förhållanden från omkörning. Testförarna tyckte att hastighetskontrollen var för effektiv och följaktligen begränsade deras frihet.

En fältstudie i Sverige (Persson m.fl. 1993) visade att medelhastigheten minskade på länkar med mellan 2 % och 8 % med hastighetsbegränsaren och det fanns en benägenhet till att kompensera den låga farten på sträckor med att köra snabbare (med 2-3 km/h) genom korsningar (kanske ett omedvetet kompensations beteende). Data från beteendeobservationer visade en klar ökning av proportionen av korrekt hållna avstånd till framförvarande bilen (även på platser med lägre hastighet än hastighetsgränsen). Å andra sidan ökade antalet felaktigt beteende mot andra trafikanter vid korsningar något. De flesta av förarna visade en positiv attityd mot hastighetsbegränsaren i allmänhet, men upplevde ibland en känsla av otalighet. 85 % av förarna rapporterade en positiv attityd till den upplevda säkerheten med systemet. Den oftast nämnda fördelen för förarna var jämnare trafikrytm och bättre beredskap för oskyddade trafikanter. Den vanligast nämnda nackdelen var att det skulle vara omöjligt att accelerera och ibland överstiga hastighetsgränsen.

I ett annat fältförsök i Eslöv utrustades 25 personbilar med hastighetsbegränsare för en period av 2 månader. Enligt resultaten uppskattade förarna hastighetsbegränsaren som en stödjande funktion nästan utan några nackdelar. Åsikterna indikerade ett klart stöd för systemet. Tre fjärdedelar av förarna upplevde hastighetsbegränsarens funktion mer positivt än de förväntade före försöket. Tre av fyra förare uppgav att de påverkades av systemet till mjukare körning och allmänt lägre hastigheter. Mer än hälften av förarna uppgav att bilkörningen blev bekvämare med hastighetsbegränsarfunktionen. I förestudien (utan hastighetsbegränsare) var hastighetsnivån ofta över hastighetsgränsen, medan i efterstudien kunde gränsen (naturligtvis) inte överstigas. Tidsförbrukningen längs den 16 km långa testrutten ökade med 5 %. Observationer av förarbeteende indikerade förbättrade samspel med andra trafikanter (Almqvist & Nygård 1997).

Fältförsök med hastighetsbegränsare i bil genomfördes i tre "regional-typiska" europeiska länder: Nederländerna, Spanien och Sverige inom ramen för det europeiska projektet MASTER (Managing Speeds of Traffic on European Roads) (Várhelyi och Mäkinen 1998). Mätningarna genomfördes i verklig trafik med hjälp av en personbil utrustad med dold mätutrustning. Försökspersonerna, 20-24 per land, körde två gånger: en gång utan och en gång med hastighetsbegränsaren inkopplad längs en teststrutt. Teststruttens längd var 20 - 30 km bestående av tätortsgator, landsvägs- och motorvägssträckor. Olika hastighetsgränser, typiska för tätort (30, 50, 60 km/h) och landsvägar (70 - 120 km/h), inkluderades. De observerade variablerna var hastighet, avstånd till framförvarande fordon, beteende vid företrädessituationer, förarbelastning och förarattityder. Resultaten visade att hastighetsbegränsaren reducerade hastigheterna signifikant. Tidsluckan till framförvarande fordon ökade vid hastigheter mellan 30 och 50 km/h, vilket är en indikation på att avståndshållningen blev säkrare. Å andra sidan vid hastigheter mellan 70 och 90 km/h blev avståndshållningen mindre säker. Restiden längs teststrutten ökade inte signifikant, i genomsnitt med 6,6 %. Beteendeobservationer kunde inte påvisa några andra negativa effekter i form av inkorrekt företrädesbeteende. Subjektiva mätningar av förarnas belastning under körning visade att frustrationsnivån ökade när man körde med hastighetsbegränsaren. En sådan ökning måste emellertid betraktas som naturlig när man kör första gången med en ny utrustning och alla andra kör utan en sådan. Acceptansen av systemet ökade efter provkörningen då 30 % av förarna tyckte att hastighetsbegränsaren borde vara obligatorisk i alla bilar, nära 60 % tyckte att ett sådant system borde vara frivilligt medan endast 10 % var helt mot idén.

En form av negativ effekt av statiska hastighetsbegränsare upptäcktes i en simulatorstudie (Comte & Carsten (1998) då på en motorvägsektion i dimma körde förare med hastighetsbegränsaren fortare än förare utan något hastighetsanpassningssystem. Detta skulle kunna förklaras av att förare som blev vana vid hastighetsbegränsarens funktion litade på att systemet skulle hålla dem innanför gränsen för en säker hastighet.

4 DISKUSSION, SLUTSATSER

Olika skattningar av trafiksäkerhetseffekten av ett fullt utbyggt system för hastighetsanpassning i Sverige och England varierar från en 8 procentig minskning i personskadaolyckor från ett system som upprätthåller nuvarande hastighetsgränser till en minskning på 20-40 procent från ett system som även begränsar hastigheten i kritiska förhållanden (Várhelyi 1996; Carsten & Comte 1997).

Dagens steg mellan hastighetsgränser på 20 km/h är för grovt. Variationen med 10 km/h intervall är mer lämplig om dynamiska hastighetsgränser införs. Eftersom hastighetsgränsen idag endast får ändras efter regeringsbeslut kan dynamiskt ändrade hastighetsgränser beroende på den rådande situationen endast appliceras efter de nödvändiga lagändringarna. Detta innebär att närvarande kan systemet endast appliceras med rekommenderad hastighet och följaktligen kan intervenerande (tvingande) aktiv gaspedal ej användas under nuvarande lagstiftning.

Ovan refererade studier visar att även om informerande system har en hastighetspåverkande effekt så är de inte lika effektiva som fordonsbundna system med feedback eller system som intervenerar vid felaktig hastighetsval. Nackdelen med fordonsbundna system är att de kräver en relativt lång och omfattande implementeringsprocess. För att undvika att trafikanterna längs en vägsträcka har olika information om gällande hastighetsbegränsning måste således fordonsbundna system kompletteras med variabla skyltar under implementeringsfasen.

Studierna ovan har även visat att det finns en risk för övertro på systemen och det kan förekomma att man delegerar ansvaret till dem. Bland annat har variabla skyltar visat sig höja medelhastigheten om den skyltade hastigheten är högre än den ursprungliga medelhastigheten, likaså har statiska hastighetsbegränsare visat sig leda till en ökad medelhastighet under kritiska förhållanden. Eftersom det inte är troligt att alla vägsträckor i Sverige kommer att vara dynamiskt hastighetsanpassade, åtminstone inte under implementeringsprocessen, så är det viktigt att förarna kan skilja på om hastigheten är dynamisk (rekommenderad lämplig högsta hastighet efter rådande förhållanden) eller statisk (högsta hastighet under goda förhållanden). För VMS så är detta relativt enkelt eftersom de visuellt skiljer sig markant från statiska hastighetsskyltar, för fordonsbundna system kan det vara mer komplicerat.

Acceptansen för dynamiska system är hög och information om lämplig högsta hastighet under rådande förhållanden är högt rankad på bilisters önskelista.

4.1.1 Fortsatt forskning

Följande frågeställningar är viktiga att arbeta med vidare rörande system för dynamisk hastighetsanpassning:

a. Det krävs ytterligare forskning för att klargöra bilisternas reaktioner för att kunna bedöma potentialen hos dynamiska hastighetsanpassningssystem. Det är framförallt frågan om storskalighet som fortfarande inte kan belysas tillräckligt bra. Hur kommer förarbeteendet att påverkas i en ny situation där en stor andel av fordonen i trafik är utrustade med systemet? Det behövs mer kunskap om långtidseffekterna och bättre skattningarna av beteendeförändringarna som följer och - framförallt - vilka säkerhetskONSEKVENSER detta kan få. Frågan gäller eventuella beteendeanpassningseffekter, både när systemet är aktivt och när det är inaktivt. Vi vet fortfarande väldigt lite om hur förarnas mentala belastning påverkas av systemet. Detta är en

viktig fråga med hänsyn till de generella risker som är förknippade med den allt snabbare introduktionen av IT i fordonen. Det kommer att krävas betydligt mer empiriska studier för att klarlägga denna fråga. Då acceptans är en process och den inte är oföränderlig måste en kontinuerlig uppföljning genomföras.

b. De hittills genomförda studierna har koncentrerats mycket kring de enskilda förarnas beteende ur framförallt säkerhetssynpunkt. Kapacitets- och framkomlighetsfrågor har hittills inte alls belysts. Det finns ett klart intresse ur teoretisk synvinkel. Om hastigheterna kunde kontrolleras vid kapacitetsnära tillstånd, skulle till exempel chockvågseffekter kunna undvikas och kapaciteten och framkomligheten förbättras påtagligt under sådana förhållanden. För att dessa teoretiska effekter skall kunna uppnås, krävs emellertid att antaganden om bilisters följsamhet till systemet kan verifieras. För att kunna göra detta krävs stora empiriska försök. Med tanke på potentiella vinster till exempel i form av minskade krav på utbyggnad av den fysiska infrastrukturen, borde denna typ av forskning prioriteras. Det fortsatta arbetet bör i första hand inriktas på att närmare studera och analysera befintliga systems prestanda eftersom de positiva effekterna är förhållandevis små. Orsaken till detta bör fastställas. Därefter kan möjliga utvecklingsvägar fastställas: utveckling av befintliga system eller utveckling av nya system.

Referenser

- Almqvist, S., Towliat, M. (1993) Aspen track, Estimation of traffic safety benefits by using transmitted road side information to the vehicle. Lund University, Sweden.
- Almqvist, S., Nygård, M. (1997) ***Dynamic speed adaptation – Demonstration trial with speed regulation in built-up area***. Bulletin 154. Lund University, Sweden.
- Andrews, M.J., 1994.: Preview driving and driver interface in the ATT DRIVE II project ROSES. In: Ed. Kleusken, R.J.A., de Vos, A.P., 1994: Road Safety Enhancement System. TNO, DELFT, The Netherlands.
- Balz, W., Zhu, J. (1994) ***Nebelwarnsystem A8 Hohenstadt - Riedheim. Wirkungsanalyse*** Landesamt für Strassenwesen, Baden-Württemberg & PTV Consult GmbH Niederlassung Stuttgart. Germany.
- Berg, S. och Bukkems, N. (2001). Dutch and Swedish experiences of the Dutch Motorway Control system MTM. ITS Conference Sydney.
- Beukers, B. (1984). Facts and Figures about the Dutch Motorway Control and Signalling System. Rijkswaterstaat.
- Bolling, A., Nilsson, L. (2001) ***Utvärdering av kameraövervakade vägarbetsplatser: en pilotstudie*** Statens väg- och transportforskningsinstitut. VTI notat 64-2001, Linköping.
- Bontell, C., 1983.: Dokumentation av färdtekniska grundvärden och linjeföring. TU 1983:4. Vägverket, Borlänge.
- Brookhuis, K., de Waard, D. (1997) Intelligent Speed Adaptor. ***Proceedings of the Europe Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Conference***, Bochum, November 1997. Pp 203-214.
- Brüde, U., Larsson, J., 1980.: Samband vintertid mellan väderlek-väglag-trafikolyckor. Statistisk bearbetning och analys. VTI rapport 210. Linköping.
- Carlsson, G. (1999) ***Nollvisionen, hastigheterna och samhällsekonomin***. Föredrag vid VTIs och KFBs Transportforum 13-14 januari 1999 i Linköping.
- Carsten, O., Comte, S. (1997) UK Work on Automatic Speed Control. ***Proceedings of the ICTCT 97 conference*** 5-7 November 1997, Lund, Sweden.
- Comte, S. & Carsten, O. (1998). Evaluation of In-car Speed Limiters - Simulator Study. MASTER Working Paper 3.2.1.
- Comte, S. L. & Jamson, A. H. (2000) Traditional and innovative speed-reducing measures for curves: an investigation of driver behaviour using a driving simulator. ***Safety Science***, Volume 36, Issue 3, Pages 137-150 (December 2000).

Dahlstedt, S. (1994) *The SARTRE-tables Opinions about traffic and traffic safety of some European drivers* VTI report Nr 403/403A. Linköping, Sweden.

De Waard, D., Brookhuis, K.A. (1997) Behavioural adaptation of drivers to warning and tutoring messages: results from an on-the-road and simulator test. Heavy Vehicle Systems, *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 4, Nos 2-4, pp 222-234.

De Waard, D., van der Hulst, M. Brookhuis, K. (1994) Behavioural adaptation to an in-car enforcement and tutoring system - A driving simulator study. Training and simulation. *Proceedings of the HFES Europe Chapter*, Dortmund, Germany.

De Waard, D., Van der Hulst, M., Brookhuis, K.A. (1998) Elderly and young drivers' reaction to an in-car enforcement and tutoring system. Accepted for publication in *Applied Ergonomics*

Eliasson, J. (1997) Misstro mot de nya trafikledningssystemen. Sveriges tekniska attachéer, T1-97-042.

Elvik, R, Vaa, T., Östvik, E., 1989.: Trafikksikkerhetshåndbok, Transportøkonomisk Institutt, Oslo.

FHWA, 1997.: Rural Applications of Advanced Traveler Information Systems: User Needs and Technology Assessment. Publication NO. FHWA-RD-97-034. July 1997. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration.

Finch, D.J., Kompfner, P., Lockwood, C.R., Maycock, G., 1994.: Speed, speed limits and accidents. Project Report 58. Crowthorne: Transport Research Laboratory.

Green, M. (2000) How long does it take to stop? Methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation Human Factors* 2000. 2(3) pp195-216.

Hansén, L., Hydén, C. (1976) *Hastighetsbegränsning vid skolor (Speed limitation at schools)*. In Swedish. Bulletin 18, Lund University, Sweden.

Hogema J.H., Van der Horst R. (1997) Evaluation of A16 Motorway Fog-Signalling System with Respect to Driving Behavior. *Transportation Research Record* 1573 pp 63-67.

Horowitz, A.D., Dingus, T.A. (1992) Warning signal design: a key human factors issue in an in-vehicle front-to-rear-end collision warning system. *Proceedings of the Human Factors Society 36th annual meeting*(pp. 1011-1013). Santa Monica, USA.

Jenezon, J. H., Klijnhout, J. J. och Langelaar, H. C. G. (1987). Motorway control and signalling. Traffic Engineering and Control. Vol. 28/6.

Klijnhout, J. J. (1984) Motorway control and signalling: the test of time. *Traffic Engineering and Control*. Vol. 25/4.

Kronborg, P., Lindkvist, A. och Schelin, E. (2002) Fungerar transportinformatik i praktiken? Transportforskningskommissionen.

- Kuiken, M. (1996). Instructional support to drivers: The role of in-vehicle feedback in improving driver performance of qualified motorists. PhD Thesis, University of Groningen, Traffic Research Centre Haren, The Netherlands.
- Kulmala, R., 1996.: Traffic safety and Transport Telematics. Paper presented on the Conference: Road Safety in Europe 9 - 11 September, 1996, Birmingham.
- Levelt, P.B.M., 1997.: Speed and motivation. Working Paper R 2.2.1 in the MASTER project.
- Nilsson, L., 1996.: Effekter av adaptiva farthållare, Sektion A. In: Gustafsson, P. (ed.), 1996.: ARENA, Test site West Sweden. Learning and demonstrating new technology and design principles for road transport, Göteborg, Sweden.
- Nilsson, L. (1996). Effekter av adaptiva farthållare, Sektion A. In: Gustafsson, P. (ed.), 1996.: ARENA, Test site West Sweden. Learning and demonstrating new technology and design principles for road transport, Göteborg, Sweden.
- Nilsson, G., 1982.: The effect of speed limits on traffic accidents in Sweden. VTI Report 68, Linköping.
- Nilsson, L. and Berlin, M. (1992) Driver Attitudes and Behavioural Changes related to Presentation of Roadside Information inside the Car. A pilot study of the CAROSI system. VTI meddelande 689 A, Linköping. Sweden.
- Noel, E.C., Dudek, C.L., Pendleton, O.J., McGee, H.W., Sabra, Z.A. (1987) Speed control through work zones: Techniques Evaluation and Implementation Guidelines, FHWA-IP-87-4. Washington.
- Nuttall, I. (1995) Slow, slow, quick, quick, slow. *Traffic Technology International* Winter 1995.
- Pajunen, K., Mänttari, J. (1993) *Varying speed limits based on weather conditions* Technical Research Centre of Finland, VTT, Espoo, Finland.
- Papacostas, C.S., 1987.: Fundamentals of transportation engineering. Prentice-hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Pasanen, E., 1992.: Driving Speeds and Pedestrian Safety; A Mathematical Model. Helsinki University of Technology, Transportation Engineering, Publication 77. Otaniemi 1992.
- Pasterkamp, W.R., 1997.: The tyre as sensor. To estimate friction. Delft University. The Netherlands.
- Persson, H., Towliat, M., Almqvist, S., Risser, R., Magdeburg, M. (1993) *Hastighetsbegränsare i bil. Fältstudie av hastigheter, beteenden, konflikter och förarkommentarer vid körning i tätort*. Lund University, Sweden.
- Rutley, K.S. (1975) Control of drivers' speed by means other than enforcement. *Ergonomics* 1975. Vol. 18. No.1. page 89-100.

- Rämä, P. (2001) Effects of weather-controlled variable message signing on driver behaviour VTT publications 447 VTT - Technical Research Centre of Finland, Esbo.
- Rämä, P., Kulmala, R., Heinonen, M., 1996.: The effect of variable road condition warning signs. Finnish National Road Administration, Helsinki.
- Rämä, P., Luoma, J. (1997) Driver Acceptance of Weather-Controlled Road Signs and Displays. *Transportation Research Record* 1573, pp 72-75.
- Saad, F., Malaterre, G. (1982) *La regulation de la vitesse: Analyse des aides au controle de la vitesse* ONSER. France.
- Sabey, B., 1973.: Accidents: their cost and relation to surface characteristics. Safety and the concrete road surface. Paper presented at a symposium "Safety and the concrete road surface - design specification and construction". Birmingham.
- Salusjärvi, M., 1981.: The speed limit experiments on public roads in Finland. Technical Research Centre of Finland. Publication 7/1981.
- Schandersson, R., 1986.: Samband mellan trafikolyckor, väglag och vinterväghållningsåtgärder. En studie av olycksrisker vid olika is- och snöväglag baserad på försäkringsanmälningar. VTI meddelande 496, Linköping.
- Sivak, M. 1987. Driver reaction times in car-following situations. *Public Health Reviews* 1987:15, s. 265–274.
- Sojourner, R.J. and Antin, J.F. (1990) The effects of a simulated head-up display speedometer on perceptual task performance. *Human Factors*(32), pp 329-339.
- Thulin H., Obrenovic, A. (2001) Lagen om väjningsplikt mot gående på obevakat övergångsställe: - effekt på framkomlighet och beteende. VTI rapport 468. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- TRB (1994) Highway Capacity Manual. Special Report 209. Transportation Research Board, Washington DC, USA.
- Törnros, J. 1995. Effect of driving speed on reaction time during motorway driving. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 27, No. 4, p. 435–442.
- van Toorenburg, J. A. C. och de Kok, M. L. (1999) Automatic Incident Detection in MTM. Vägverket.
- Várhelyi, A. (1995) Bilförarens inställning till hastigheter, hastighetsgränser och hastighetsanpassningssystem - en enkät studie. Institutionen för Trafikteknik, LTH, Lund.
- Várhelyi, A. (1996) Dynamic speed adaptation based on information technology - a theoretical background. PhD Thesis, Lund University, Sweden.

Várhelyi, A. (1998) Drivers' speed behaviour at a Zebra Crossing: a case study. *Accident Analysis and Prevention*. 1998. Vol. 30, No. 6, pp 731-743.

Várhelyi, A., Mäkinen, T. (1998) *Evaluation of in-car speed limiters – Field study*. Working Paper R 3.2.2 in the MASTER project. VTT, Espoo, Finland.

Várhelyi, A., Hydén, C., Hjalmdahl, M., Almqvist, S., Risser, R., Draskóczy, M. (2002) Effekterna av aktiv gaspedal i tätort. Sammanfattande rapport. LundaISA. Institutionen för Teknik och samhälle, LTH, Lund.

Vägverket (1997) *Elektroniska fartkollare i Umeå. (Electronic speed “checkers” in Umeå)*. In Swedish. Publikation 1997:52. Swedish Road Administration. Borlänge. Sweden.

Vägverket (2002) Intelligent Stöd för Anpassning av hastighet (ISA), Resultat av storskalig försöksverksamhet I Borlänge, Lidköping, Lund och Umeå under perioden 1999-2002, Vägverket, Borlänge.

Vägverket. (2003). “Så fungerar MCS.” www.vv.se/mcs. Nedladdat 2003-05-07.

Ward, N.J., Parkes, A.M. (1994) Head-up displays and their automotive application: an overview of human factors issues affecting safety. *Accident Analysis and Prevention*, 26(6), pp703-717.

Webb, P.J., 1980.: The effect of an advisory speed signal on motorway traffic speeds. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.