

Spærretidens betydning for antallet af ulovlige krydsninger og uheld ved jernbaneoverskæringer

Et litteraturstudium



Søren Underlien Jensen

December 2007

Indhold

Sammenfatning	3
1. Indledning.....	4
2. Varighed af og variation i spærretid.....	5
3. Signal pålidelighed.....	10
4. Fysisk og trafikale kontekst.....	11
6. Syntese	14
Referencer	15

Sammenfatning

Nærværende litteraturstudium om spærretidens betydning for antallet af ulovlige krydsninger og uheld ved jernbaneoverskæringer er udført for Vejdirektoratet af Trafitec. Notatets fokus er især spærretiden for vejtrafikken før togpassage, altså fra toget passerer tændestedet for signalet i en sikret jernbaneoverskæring og til togets ankomst til overskæringen.

Studiet er primært baseret på litteratur fra USA, men også undersøgelser fra Sydkorea, Canada, Storbritannien, Holland, Tyskland og Sverige indgår.

Gennemgangen af litteraturen dokumenterer, at *jo længere spærretid før togpassage, desto flere ulovlige krydsninger og uheld forekommer der i en sikret jernbaneoverskæring*. Der forefindes dokumentation af sammenhænge mellem alle tre forhold, altså varighed af spærretid før togpassage, ulovlige krydsninger og uheld.

Disse sammenhænge er afhængige af konteksten. Således er der store forskelle i omfanget af ulovlige krydsninger fra land til land. Frekvensen af ulovlige krydsninger synes også at afhænge af overskæringens reguleringsmåde (blinkende lys, $\frac{1}{2}$ -, $\frac{3}{4}$ - eller helbomme), antallet af spor på banen og kørespor på vejen, oversigtsforhold, togets hastighed og omfanget af falske alarmer. Det er påvist, at følgende tiltag kan reducere frekvensen af ulovlige krydsninger: Rød-gul-grøn lyssignaler, midterrabatter, automatisk fotobaseret trafikkontrol, intelligente advarselstavler om to tog i samme spærretid, undervisning, kampagner og politikontrol.

En ulovlig krydsning i overskæringer med bomme nede er forbundet med større risiko end ulovlig krydsning i overskæringer med blinkende lys uden bomme, hvilket formentligt skyldes en større rømningstid.

Der er ikke fundet velunderbygget dokumentation for, at variation i spærretid før togpassage eller variation i og varighed af samlet spærretid påvirker omfanget af ulovlige krydsninger og uheld. Med samlet spærretid menes tiden fra toget har passeret tændestedet til toget har passeret overskæringen og signalet atter er blevet inaktiv. Der er formentligt en sammenhæng mellem samlet spærretid og antallet af ulovlige krydsninger og uheld, men emnet er ikke undersøgt i et tilstrækkeligt omfang.

Umiddelbart peger dokumentationen på, at spærretiden før togpassage optimalt bør være i omegnen af 15-40 sekunder afhængig af antal spor på banen, vejens stigningsforhold samt reguleringsmåde for at få så få ulovlige krydsninger og uheld som muligt.

1. Indledning

Nærværende litteraturstudium om spærretidens betydning for antallet af ulovlige krydsninger og uheld ved jernbaneoverskæringer er udført for Vejdirektoratet af Trafitec.

Samlet spærretid er et udtryk for tidsrummet fra toget passerer tændestedet, der giver anledning til aktivering af f.eks. blinkende lys, automatiske bomme el. lign., og til toget har passeret overskæringen og anlægget ved jernbaneoverskæringen igen er bragt tilbage til en inaktiv situation.

Notatet har primært fokus på spærretid før togpassage, altså fra toget passerer tændestedet og til togets ankomst til jernbaneoverskæringen. På engelsk kaldes spærretid før togpassage for ”warning time”.

Der er en række interessante emner i relation til dette fokusområde;

- *varighed* af spærretid før togpassage,
- *variation i varighed* af spærretid før togpassage,
- *varighed og variation i varighed af samlet spærretid* fra toget passerer tændestedet, til anlægget er bragt tilbage til inaktiv situation,
- *signal pålidelighed*, afhænger af varighed af spærretid før togpassage og hhv. *falske alarmer*, hvor anlægget aktiveres, men ingen tog kommer, og *manglende aktivering*, hvor toget kommer, men anlægget ikke aktiveres, og
- *fysisk og trafikal kontekst*, vejtrafikanter accept af spærretid før togpassage afhænger af vejens og jernbaneoverskæringens udformning samt omfanget af trafik på vej og bane.

Via søgninger i internationale databaser mv. er der fundet relevant litteratur fra USA, Canada, Sydkorea, Sverige, Storbritannien, Tyskland og Holland. I det følgende gengives pointer fra litteraturen efterfulgt af en afsluttende syntese.

2. Varighed af og variation i spærretid

Nogle bilister og andre vejtrafikanter er utålmodige eller aggressive og udfører ulovlige krydsninger af jernbaneoverskæringer. Man kører rundt om bomme eller undlader at stoppe for blinkende lys. Ulovlige krydsninger kan være et resultat af vejtrafikanters opfattede risiko for uheld eller risikoen for, at ulovlige handlinger bliver opdaget, eller den opfattede pålidelighed af signalet.

Abraham et al. (1998) fandt, at der forekom ulovlige krydsninger af jernbaneoverskæringer uanset overskæringens udformning. I deres studie af bilisters adfærd ved 37 jernbaneoverskæringer i Michigan, USA, opdelte de ulovlige krydsninger i 5 kategorier af alvorlighed, og udformning af overskæring i 4 typer af geometri og reguleringsformer. De fandt sammenhænge mellem frekvenser af ulovlige krydsninger og uheld i jernbaneoverskæringer, når man tog højde for de opstillede kategorier af ulovlige krydsninger og typer af overskæringer. Ulovlige krydsninger fører derved til uheld.

På baggrund af dybdeanalyser af 43 uheld i overskæringer kun med blinkende lys i USA fandt Berg et al. (1982), at lange spærretider før togpassage på over 30 sekunder var en uheldsfaktor i ca. 55 procent af uheldene. I gennemsnit var spærretiden før togpassage på 70 sekunder i disse uheld. Med en uheldsfaktor menes, at uheldet formentligt ikke ville være sket, hvis denne faktor ikke var forekommet.

Griffioen (2004) fandt med baggrund i dybdeanalyser af 100 uheld i overskæringer med halvbomme i Holland, at bevidste ulovlige krydsninger blandt vejtrafikanter var den primære faktor i 40 af uheldene. Disse 40 uheld inkluderede 21 ud af i alt 33 dræbte. De andre uheld skyldtes primært fejlhandlinger, fejl opfattelser, fejl på teknik og køretøjer samt en række andre forhold.

På baggrund af en analyse af 402 uheld i jernbaneoverskæringer i Korea finder Oh et al. (2006), at varigheden af spærretiden før togpassage har signifikant negativ virkning på uheldsføremst, således at jo længere varighed desto flere uheld forekommer der. De finder tillige, at lange tidsrum mellem aktivering af blinkende lys og aktivering af bomme, der går ned, medfører en højere uheldsføremst.

Dahlman (2001) udførte et studie om faktisk og oplevet ventetid ved to jernbaneoverskæringer med helbomme i et landområde i Sverige. Ventetiden blev målt og bilisten blev efterfølgende stopinterviewet. I gennemsnit var den faktiske ventetid 66 sekunder, mens den oplevede ventetid var 141 sekunder. I følge Jensen (2007) er der her tale om retrospektiv tidsestimering, hvor respondenter vurderer varigheden af begivenheder, efter disse er afsluttet. Her vurderes tiden ud fra hukommelsen, der kræver genfremkaldelse af midlertidig information. Det oplevede tidsrum vil blive stadig kortere desto mere information pr. tidsenhed, der er indbygget

i begivenheden. Den store overestimering af ventetiden ved de to overskæringer i Sverige er formentligt et udslag af beskeden informationsmængde / kedsomhed.

Ved 19 velvalgte overskæringer med halvbomme i Texas, USA, blev ulovlige krydsninger og andre forhold registreret (Carlson og Fitzpatrick, 1999; Fitzpatrick et al., 1997a; Fitzpatrick et al., 1997b). Det blev gjort for, at man kunne opstille modeller for sammenhænge mellem ulovlige krydsninger samt geometriske og trafikale forhold. Modellerne skulle konkret anvendes til at udpege overskæringer, der skulle udstyres med automatisk fotobaseret trafikkontrol (ATK) af ulovlige krydsninger. Ulovlig krydsninger blev opdelt i tre typer; type I) fra aktivering af lys til 2 sekunder efter bomme havde startet nedlukning, type II) fra 2 sekunder efter bomme havde startet nedlukning til togpassage, og type III) efter togpassage til bomme var oppe og lys ikke længere aktiveret. I alt forekom der 461 ulovlige krydsninger ved 1,008 togpassager, heraf var der 217 type I, 216 type II og kun 28 type III krydsninger. Omfanget af type I krydsninger afhang af togets hastighed og antal spor på banen. Jo højere hastighed, desto flere krydsninger, og jo flere spor, desto færre krydsninger. Spærretiden havde ingen indvirkning på type I krydsninger. Derimod afhang type II krydsninger meget af spærretiden før togpassage, men også af oversigtsforhold, antal spor på banen og antal kørespor på vejen. For hver 10 sekunder spærretiden blev øget, steg antallet af type II krydsninger med en faktor 1,7. Der forekom således type II krydsninger i under 10 procent af tilfældene med spærretider under 30 sekunder, mens disse krydsninger forekom i over 90 procent af tilfældene med spærretider over 100 sekunder. Flere spor på banen medførte færre type II krydsninger, mens flere kørespor på vejen og dårlige oversigtsforhold medførte flere af disse ulovligheder. Der var for få type III krydsninger til, at disse kunne modelleres.

Wilde et al. (1987) målte spærretid før togpassage og samlet spærretid ved fem canadiske jernbaneoverskæringer. Målingerne viste stor variation i spærretid både ved den enkelte overskæring og på tværs af alle overskæringer. Variationen havde en observerbar effekt på bilisters adfærd, idet kritiske hændelser forekom i forbindelse med ca. halvdelen af togpassagerne. Mens nogle bilister uforvarende krydsede overskæringer, f.eks. fordi de var inde i dilemmazonen, så passerede andre overskæringer ulovligt med fuldt overlæg. Antallet af ulovlige krydsninger var størst i den overskæring, hvor spærretiden før togpassage var størst.

Coleman og Venkataraman (2001) studerede ulovlige krydsninger ved et system bestående af et absorberende net, der ikke var muligt at gennemtrænge, og som var placeret omkring 40 m fra en jernbaneoverskæring i McLean, USA. I princippet fungerede stedet som en overskæring kun med blinkende lys indtil 15-20 sekunder før togets ankomst, hvorefter nettene var eller begyndte at blive sænket. Der var en blanding af gods- og passagertog på banen med hastigheder varierende mellem 32 og 111 km/t. Spærretiden før togpassage varierede mellem 26 og 93 sekunder, dog var 80 procent af tilfældene mellem 50 og 60 sekunder. I gennemsnit blev blinkende lys ved nettene aktiveret 55 sekunder før togankomst, mens lys ved selve overskæringen blev aktiveret 27 sekunder før togankomst, og nette-

ne var nede 13 sekunder før togankomst. En analyse af ulovlige krydsninger viste, at 100 procent af bilerne stoppede ved stoplinien før nettene, når deres ventetid til togets ankomst var under 20 sekunder. For hver 10 sekunders yderligere ventetid udover 20 sekunder faldt andelen af stoppede biler med 10-15 procentpoint.

I et studie af bilisters ulovlige krydsninger indgik tre overskæringer i Tennessee, USA (Richards og Heathington, 1990; Richards et al., 1991). Overskæring 1 var udstyret med klokke, blinkende lys og halvbomme, havde 4 kørespor på vejen og dobbeltsporet bane. Overskæring 2 og 3 havde kun blinkende lys, klokker, 2 kørespor på vejen og enkeltsporet bane, og altså ingen bomme. Overskæring 3 fik installeret hastighedsdetektion af tog i løbet af studieperioden, hvilket blev registreret og medførte et fald i spærretid før togpassage. Alle overskæringerne lå i byområde, havde hastighedsbegrænsning på vejene på 48-64 km/t og togene kørte mellem 8 og 88 km/t. Der kørte 10-14.000 biler og 10-16 tog pr. døgn gennem overskæringen. I alt blev 3.535 bilisters adfærd i forbindelse med 445 togpassager studeret, og disse var nogenlunde ligeligt fordelt på de tre overskæringer. En tredjedel af den studerede trafik foregik i mørke, dog med vejbelysning. Spærretiden før togpassage varierede meget for den enkelte overskæring og overskæringerne imellem (24-139 sekunder). I løbet af de første fire sekunder med blinkende lys faldt andelen af biler, der ikke stoppede drastisk, dog ikke ved overskæringen med halvbomme, hvor andelen forblev høj indtil bommene gik ned, hvilket først skete efter 10-14 sekunder. Efter de første fire sekunder var bilisters adfærd, som vist i tabel 1.

Overskæring nummer og situation		Antal biler	Gennemsnitlig spærretid før togpassage	Andel af biler		
				Stopper ikke	Stopper og krydser	Stopper og venter
1	Bomme ej nede	162	57,9 sek.	56,2 %	11,7 %	32,1 %
	Bomme nede	768		11,7 %	28,0 %	60,3 %
2	Blinkende lys	1.036	40,2 sek.	14,5 %	31,1 %	54,4 %
3	Blinkende lys uden hastighedsdetektion	937	75,6 sek.	19,0 %	61,4 %	19,6 %
	Blinkende lys med hastighedsdetektion	363	39,8 sek.	10,5 %	45,5 %	44,1 %

Tabel 1. Bilisters stopadfærd efter 4 sekunders aktivering i 3 overskæringer i USA. (Richards og Heathington, 1990; Richards et al., 1991)

Af tabel 1 kan det erfares, at relativt få stopper og venter. Hastighedsdetektion af tog medførte en signifikant forbedring af bilisters stopadfærd. Stopadfærden var bedre om natten end i dagslys, mens vejr og føre ikke synes at have betydning. I en analyse af varighed af spærretid før togpassage blev der set bort fra tiden i overskæring 1 før bommene gik ned. Ved en spærretid før togpassage på 20-35 sekunder stoppede og ventede omkring 90 procent af bilisterne ved alle tre overskæringer. Ved en varighed på 45 sekunder var det faldet til ca. 55 procent. Denne andel, altså ca. 55 procent, bibeholdt overskæring 1 med bomme ved spærretider

før togpassage af længere varighed end 45 sekunder. Derimod stoppede og ventede en stadig mindre andel af bilisterne ved overskæring 2 og 3 kun med blinkende lys jo længere spærretiden blev, så ved en spærretid på 85 sekunder var der kun omkring 15 procent af bilisterne, der stoppede og ventede. Baggrunden herfor er, at tiden mellem bilistens og togets ankomst til overskæringen øges med stigende varighed af spærretid før togpassage. Er tiden mellem bilistens og togets ankomst under 10 sekunder stopper og venter over 95 procent af bilisterne, men er tiden 25 sekunder er denne andel kun ca. 50 procent i overskæring 1 med bomme og kun omkring 20 procent i overskæring 2 og 3 kun med blinkende lys. Andelen falder fortsat, så med bomme er det kun 35 procent, der stopper og venter, efter 45 sekunder og kun 10 procent efter 65 sekunder. Kun med blinkende lys er andelen kun ca. 10 procent efter 45 sekunder og under 5 procent efter 65 sekunder. De bilister, der stopper for så at krydse før togets ankomst, stopper mellem 1 og 30 sekunder, men størsteparten (90 procent) under 5 sekunder, dog længere tid i overskæringen med bomme. Det tog ca. dobbelt så lang tid (godt 4 sekunder i gennemsnit) at krydse overskæringen med bomme nede end overskæringer kun med blinkende lys. Forfatterne fulgte de empiriske studier op med eksperimentelle studier, hvor 60 personer skulle udføre tests på basis af video. Et resultat var, at bilister accepterede en længere spærretid før togpassage ved overskæringer med bomme (30,6 sekunder) end ved overskæringer kun med blinkende lys (14,5 sekunder), altså nogenlunde samme resultat som i de empiriske studier. Forfattere anbefaler, at spærretiden før togpassage maksimalt bør være 40 sekunder ved overskæringer med blinkende lys og 60 sekunder ved bomme. Den bedst tænkelige spærretid er 20-40 sekunder afhængig af overskæringens bredde og vejens stigningsforhold. (Richards og Heathington, 1990; Richards et al., 1991)

Der findes forskellige systemer til at reducere varighed, og variation i varighed, af spærretid før togpassage. Sammenligninger af systemer, der medfører konstante spærretider før togpassage, med systemer (afstandsbestemte systemer, der ikke tager højde for hastighed på tog) med stor variation i varigheden af spærretider før togpassage gav ikke signifikante forskelle i ulykkesforekomsten (Bowman, 1989; Halkias og Blanchard, 1989). Dog medførte systemer med konstante spærretider før togpassage signifikante reduktioner i antallet af ulovlige krydsninger ifølge Bowman (1989), der studerede bilisters adfærd ved 12 overskæringer. Richards et al. (1990) fandt, at et system, der reducerede både varighed og variation i varighed af spærretid før togpassage, medførte færre ulovlige krydsninger og færre farlige ulovlige krydsninger mindre end 10 sekunder før togankomst samt en lavere hastighed på biler op mod overskæringen.

Stopadfærden ved blinkende lys blandt hollandske bilister er helt anderledes set i forhold til amerikanske. Tenkink og van der Horst (1990) studerede bilistadfærd ved to overskæringer med blinkende lys men uden bomme i landområde, hvor lyset blinker og en klokke lyder mindst 22 sekunder før togpassage. 660 bilister blev studeret nærmere. Før togpassage kørte ingen bilister forbi overskæringerne efter 6 sekunders aktivering. 50 procent af de første tog ankom indenfor 42 sekunders aktivering, ca. 80 procent indenfor 50 sekunder og de resterende 20 pro-

cent efter op til 90 sekunder. I ca. 10 procent af tilfældene ankom et andet tog, som ankom op til 130 sekunder efter aktivering. I det hollandske tilfælde er mængden af ulovlige krydsninger således ikke afhængig af varigheden af spærretiden før togpassage. 50 procent af de stoppende biler havde en deceleration på 3 m/s^2 eller mere, hvilket er mere end i almindelige signalregulerede vejkryds, hvor kun 12 procent udfører en så kraftig deceleration. Faktisk udførte 7 ud af de 660 biler deciderede katastrofeopbremsninger. Disse voldsomme opbremsninger kan føre til bagendekollisioner. Et problem var, at 41 bilister kørte umiddelbart efter det første tog havde passeret selvom det røde lys ikke var slukket. Heldigvis kom der ikke et efterfølgende tog i disse tilfælde.

Meeker og Barr (1989) studerede bilistadfærd ved en overskæring med blinkende lys på en landevej nær Muncie, Indiana, USA. 2 ud af 3 krydsede overskæringen selvom lyset blinkede, men knap 90 procent af disse bilister stoppede kortvarigt op eller sænkede farten markant før krydsningen. En analyse viste en særdeles tydelig sammenhæng mellem sandsynligheden for, at bilisten krydsede ulovligt, og afstanden til toget i meter, da bilisten ankom til overskæringen. Jo større afstand desto større sandsynlighed for ulovlig krydsning.

I Skotland blev der i 2003 installeret kameraer til detektering af ulovlige krydsninger ved 45 overskæringer (Vijendran et al., 2004). Analyser viste, at omkring 95 procent af disse krydsninger ved overskæringer med halvbomme skete før bommene var nede, mens resten forekom nogenlunde jævnt fordelt frem til ca. 50 sekunder efter aktivering. Ved overskæringer kun med blinkende lys skete ca. 35 procent af krydsningerne i løbet af de første 3 sekunder, mens de resterende 65 procent skete jævnt fordelt frem mod 50 sekunder efter aktivering. Interessant er det, at de fleste ulovlige krydsninger sker i timerne kl. 10-15 og kl. 19-21, altså uden for myldretider, hvilket kunne pege i retning af en stærk norm om, at krydsningerne er socialt uacceptable. Man krydser ikke, hvis andre ser det. Derfor er der også grund til at tro, at overskæringer med beskedne biltrafikmængder har en relativt stor andel af ulovlige krydsninger.

3. Signal pålidelighed

Tilliden til et advarselssystem som f.eks. blinkende lys afhænger ikke kun af vejtrafikanterens ventetid før togpassage, men også af antallet af falske alarmer (advarselssystemet aktiveres, men ingen tog) og manglende aktivering. Falske alarmer og manglende aktivering medfører begge, at vejtrafikanter opfatter signalet som mindre pålideligt, men hvor falske alarmer synes at resultere i flere ulovlige krydsninger, giver manglende aktivering anledning til en mere agtpågivende adfærd (Yeh og Multer, 2007).

GEI (1994) gennemførte fokusgrupper om bilisters holdninger til jernbaneoverskæringer. Disse viste, at bilister ikke altid tror på den information, som signaler ved overskæringer giver, fordi de føler, at nogle signaler fungerer uhensigtsmæssigt. De udtrykte baggrunde herfor var, at signaler blev aktiveret for tidligt, forblev aktive for længe, eller ofte havde funktionsfejl. Antallet af ulovlige krydsninger synes således at kunne falde ved at mindske varigheden af spærretid før togpassage, at mindske den samlede spærretid, og at øge signalets pålidelighed.

Wilde et al. (1987) registrerede signalpålidelighed ved 5 canadiske overskæringer. Falske alarmer indtraf kun ved en overskæring, men her udgjorde falske alarmer 50 procent af aktiveringerne. Ikke overraskende var frekvensen af ulovlige krydsninger ved denne overskæring meget højere end ved de 4 andre.

I et eksperimentelt studie blev bilister udsat for forskellig signalpålidelighed (hhv. 40, 60 eller 83 procent), hvorefter de skulle køre gennem en række overskæringer i en køresimulator (Yeh og Multer, 2007). Resultaterne viste, at uheldsfrekvensen var højest blandt de bilister, hvor signalpålideligheden var lavest. Disse bilister havde samtidig de laveste sikkerhedsmarginer til togene.

4. Fysisk og trafikal kontekst

Abraham et al. (1998) fandt, at udformning af overskæring, bane og vej har en vis betydning for omfanget af ulovlige krydsninger og uheld. De i alt 37 undersøgte jernbaneoverskæringer blev opdelt i 4 typer, og resultater for disse kan erfares i tabel 2. Ved brug af statistiske test efterviste de, at der er sammenhænge mellem antallet af ulovlige krydsninger og uheld. Undersøgelsen tyder på, at en ulovlig krydsning er farligere ved overskæringer med bomme end ved overskæringer kun med blinkende lys. Ulovlige krydsninger blev i øvrigt delt op i 5 kategorier af alvorlighedsgrad.

Type af overskæring	Antal ulovlige krydsninger pr. togpassage	Gennemsnitligt antal uheld pr. 7 år
Halvbomme, 2 el. flere spor på bane, 4 el. flere kørespor på vej	4,2	1,167
Halvbomme, 2 el. flere spor på bane, 2 kørespor på vej	1,6	0,333
Blinkende lys, 1 spor på bane, 4 el. flere kørespor på vej	5,2	0,875
Blinkende lys, 1 spor på bane, 2 kørespor på vej	4,5	0,200

Tabel 2. Antal ulovlige krydsninger pr. togpassage og gennemsnitligt antal uheld pr. 7 år i 4 typer af jernbaneoverskæringer i USA. (Abraham et al., 1998)

En overskæring i Tennessee, USA, blev ombygget fra halvbomme til helbomme, i alt 4 bomme der spærrede i hele vejens bredde på begge sider af banen. En evaluering viste, at antallet af ulovlige krydsninger faldt fra 2,6 pr. togpassage til 0 (Heatington et al., 1989). I førsituationen med halvbomme steg antallet af ulovlige krydsninger pr. togpassage med varigheden af spærretiden, se tabel 3. Varighed af og variation i spærretider før og efter ombygningen var nogenlunde den samme. Evalueringen viste tillige, at bilisterne kørte lidt hurtigere frem mod helbommene end mod halvbommene, hvilket måske skyldes, at bilister orienterede sig efter tog, da overskæringen havde halvbomme.

Spærretid før togpassage	Observerede togpassager	Antal ulovlige krydsninger pr. tog
20-30 sekunder	2	0,00
30-40 sekunder	10	1,00
40-50 sekunder	15	1,64
50-60 sekunder	37	2,54
60-90 sekunder	27	3,44
Over 90 sekunder	2	9,00

Tabel 3. Antal ulovlige krydsninger pr. tog fordelt på varighed af spærretid før togpassage i en overskæring med halvbomme i USA. (Heatington et al., 1989)

En anden overskæring i Tennessee, USA blev ombygget fra kun at have blinkende lys til at have 3 signaler (rød-gul-grøn), der forefindes i almindelige signalregulerede vejkryds (Fambro et al., 1989). Denne ombygning medførte et fald i antallet

af ulovlige krydsninger fra 3,35 til 0,73 pr. togpassage (78 procents fald). I hovedtræk skyldtes det, at varigheden af spærretid før togpassage ikke havde indflydelse på antallet af ulovlige krydsninger i situationen med 3 signaler, mens spærretiden havde stor betydning for omfanget af ulovlige krydsninger, da der var blinkende lys. Antallet af farlige ulovlige krydsninger, der sker mindre end 10 sekunder før togankomst, faldt også fra 0,13 til 0,05 pr. togpassage.

Meeker et al. (1997) studerede bilisters adfærd ved en overskæring i USA, der blev ombygget fra blinkende lys til en med halvbomme, og fandt, at antallet af ulovlige krydsninger faldt signifikant med 43 procent. De fandt dog også, at de, som udførte de ulovlige krydsninger, havde en mere risikabel adfærd i situationen med halvbomme, da de sjældnere stoppede op for at orientere sig og kørte hurtigere. Tilsvarende køreadfærd er fundet i andre studier (Shinar og Raz, 1982; Ward og Wilde, 1995; Moon og Coleman, 1999).

Et stort anlægsprogram i North Carolina, USA, blev evalueret for effekter på antal ulovlige krydsninger og uheld ved 52 overskæringer (FRA, 2002). Evalueringen viste, at stærekasser med automatisk fotobaseret trafikkontrol (ATK) af ulovlige krydsninger samt udstedelse af bøde medførte en reduktion i ulovlige krydsninger på 72 procent i overskæringer med halvbomme. Etablering af helbomme (4 bomme) i stedet for halvbomme reducerede antallet af ulovlige krydsninger med 86 procent. Disse helbomme lukkede ikke samtidig, hvorfor en senere etablering af midterrabat medførte et yderligere fald i ulovlige krydsninger til kun 2 procent af det oprindelige niveau med halvbomme. Etablering af $\frac{3}{4}$ bomme i stedet for halvbomme reducerede antallet af ulovlige krydsninger med 67 procent umiddelbart efter og 84 procent et år efter. Endelig reducerede anlæg af midterrabat ved overskæringer med halvbomme antallet af ulovlige krydsninger med 77 procent. På baggrund af uheldsanalyser, tidligere uheldsstudier, økonomiske opgørelser og studier af ulovlige krydsninger angav rapporten sikkerhedseffekter og økonomi for ændringer af overskæringer med halvbomme, som vist i tabel 4.

	Lukning	$\frac{3}{4}$ bomme	Midterrabat	ATK	Helbomme	Helbomme + midterrabat	Planskilt kryds
Sikkerhedseffekt	100 %	75 %	80 %	72 %	82 %	92 %	100 %
2002-priser US\$	15.000	5.000	10.000	55.000	125.000	135.000	4.000.000

Tabel 4. Sikkerhedseffekter af tiltag i jernbaneoverskæringer med halvbomme. (FRA, 2002)

LACMTA (2000) udførte et studie af ombygning af en overskæring i Los Angeles fra halvbomme til helbomme. Studiet viste et fald i ulovlige krydsninger blandt bilister på 94 procent.

Hellman et al. (2007) udførte også en evaluering af ombygning af en overskæring fra halvbomme til helbomme, beliggende i Groton, USA. Her blev ulovlige krydsninger i spærretiden før togpassage delt op i to grupper begge med blinkende lys aktiveret hhv. uden (type I) og med (type II) bomme nede. Type I krydsninger faldt fra 60 til 26 pr. 100 togpassager, mens type II faldt fra 166 til 0, altså samlet

et fald på 88 procent. Det skal ses i sammenhæng med, at spærretiden før togpassage i gennemsnit var 80 sekunder både før og efter ombygningen. De fandt ingen sammenhæng mellem længden af spærretiden før togpassage og type I krydsninger i situationen med halvbomme.

Et studie af tre overskæringer med halvbomme, hvor der blev etableret midterrabat, i Florida, USA, viste, at antallet af ulovlige krydsninger faldt med 94 procent i tiden, hvor bommene var nede eller på vej ned (Ko et al., 2003). I alt blev 2.624 togpassager analyseret. Lidt overraskende var der kun meget få ulovlige krydsninger, idet kun 1,3 procent af de køretøjer i førperioden, der kunne foretage disse krydsninger, gjorde det.

Et studie af en overskæring med blinkende lys i Canada, som fik installeret automatisk fotobaseret trafikkontrol (ATK), viste, at antallet af ulovlige krydsninger faldt med 53 procent (English og Murdock, 2005). Faldet skal ses i sammenhæng med, at 8 procent af bilisterne foretog ulovlig krydsning før, mens det var faldet til 4 procent efter.

Van der Horst og Bakker (2004) undersøgte en række tiltags betydning for antallet af ulovlige krydsninger ved overskæringer med halvbomme i Holland. Anlæg af bomme på tværs af fortove medførte et fald i antallet af ulovligt krydsende fodgængere, efter toget var passeret, men før det blinkende lys blev slukket. Vejbump medførte fald i hastigheder på 9-15 km/t, hvilket skal ses i relation til, at mange uheld ved jernbaneoverskæringer er bagendekollisioner mellem biler. Afmærkning af brede midtlinier og midterheller påvirkede ikke antallet af ulovlige krydsninger blandt køretøjer, idet der kun blev registreret én krydsende bil, men et større antal krydsende cyklister, der synes upåvirket af tiltagene.

Installering af intelligente tavler ved overskæringer i Los Angeles og Maryland, der advarede fodgængere om ikke bare ét men to tog, medførte, at antallet af fodgængere, der krydsede ind foran toget mindre end 4 sekunder før passage, blev reduceret med 73 procent (Parker, 2002). Faldene hhv. 6 og 15 sekunder før passage var 32 og 14 procent. 93 procent ud af 556 interviewede fodgængere svarede, at de mente tavlerne forbedrede trafiksikkerheden.

Et program med undervisning, kampagner og politikontrol i staten Illinois blev evalueret ved at registrere ulovlige krydsninger ved tre jernbaneoverskæringer i perioder før og efter programmet (Sposato et al., 2007). Antallet af ulovlige krydsninger faldt samlet set med 31 procent. Den største reduktion på 71 procent forekom blandt de farligste krydsninger efter bomme var nede. Det var mest fodgængere, der foretog de meget farlige krydsninger, og det var også blandt fodgængere man så de største fald i ulovlige krydsninger. I alt omfattede evalueringen over 60.000 togpassager og 120.000 ulovlige krydsninger.

6. Syntese

Gennemgangen af litteraturen dokumenterer, at *jo længere spærretid før togpassage desto flere ulovlige krydsninger og uheld forekommer der i en sikret jernbaneoverskæring*. Der forefindes dokumentation af sammenhænge mellem alle tre forhold, altså varighed af spærretid før togpassage, ulovlige krydsninger og uheld. Disse sammenhænge er afhængige af konteksten. Man kan således sige:

- Frekvensen af ulovlige krydsninger er typisk større i amerikanske studier end i europæiske studier. Mulige forklaringer kan meget vel være: Længere spærretid før togpassage, længere samlet spærretid (flere lange, langsomme godstog) og lavere tilslutning til ansvarlige sociale værdier i USA. Frekvensen af ulovlige krydsninger i Danmark er uvist.
- Alt andet lige er frekvensen af ulovlige krydsninger (og risikoen for uheld) højere i overskæringer kun med blinkende lys set i forhold til overskæringer med halvbomme, der igen har en højere frekvens og risiko end overskæringer med helbomme. Det ser også ud til, at en ulovlig krydsning i overskæringer med halvbomme er forbundet med større risiko end en tilsvarende ulovlig krydsning i overskæringer kun med blinkende lys, hvilket formentligt skyldes en større rømningstid.
- Frekvensen af ulovlige krydsninger synes også at afhænge af antallet af spor på banen og kørespor på vejen, oversigtsforhold, togets hastighed og omfanget af falske alarmer.
- Udover den overordnede reguleringsmåde (blinkende lys, ½-, ¾- eller helbomme) og reduktion i spærretiden før togpassage kan flere tiltag reducere frekvensen af ulovlige krydsninger: Rød-gul-grøn lyssignaler, midterrabatter, automatisk fotobaseret trafikkontrol, intelligente advarselstavler om to tog i samme spærretid, undervisning, kampagner og politikontrol.

Der er ikke fundet velunderbygget dokumentation for, at variation i spærretid før togpassage eller variation i og varighed af samlet spærretid påvirker omfanget af ulovlige krydsninger og uheld. Med samlet spærretid menes tiden fra toget har passeret tændestedet til toget har passeret overskæringen og signalet atter er blevet inaktiv. Der er formentligt en sammenhæng mellem samlet spærretid og antallet af ulovlige krydsninger og uheld, men emnet er ikke undersøgt i et tilstrækkeligt omfang.

Umiddelbart peger dokumentationen på, at spærretiden før togpassage optimalt bør være i omegnen af 15-40 sekunder afhængig af antal spor på banen, vejens stigningsforhold samt reguleringsmåde for at få så få ulovlige krydsninger og uheld som muligt.

Referencer

- Abraham, J., Datta, T. K. og S. Datta (1998): Driver Behavior at Rail-Highway Crossings. *Transportation Research Record* 1648, pp. 28-34, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Berg, W. D., Knoblauch, K. og W. Hucke (1982): Causal Factors in Railroad-Highway Grade Crossing Accidents. *Transportation Research Record* 847, pp. 47-54, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Bowman, B. L. (1989): Analysis of Railroad-Highway Crossing Active Advance Warning Devices. *Transportation Research Record* 1114, pp. 141-151, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Carlson, P. J. og K. Fitzpatrick (1999): Violations at Gated Highway-Railroad Grade Crossings. *Transportation Research Record* 1692, pp. 66-73, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Coleman, F. og K. Venkataraman (2001): Driver Behavior at Vehicle Arresting Barriers: Compliance and Violations During the First Year at the McLean Site. *Transportation Research Record* 1754, pp. 68-76, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Dahlman, J. (2001): *Upplevd och faktisk väntetid vid plankorsningar*. Väg- och transportforskningsinstitutet, VTI notat 9-2001, Sverige.
- English, G. og J. Murdock (2005): *Pilot Evaluation of Automated Grade Crossing Signal Enforcement*. Transport Canada, rapport TP 14517E, Montreal, Canada.
- Fambro, D. B., Heathington, K. W. og S. H. Richards (1989): Evaluation of Two Active Traffic Control Devices for Use at Railroad-Highway Grade Crossings. *Transportation Research Record* 1244, pp. 52-62, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Fitzpatrick, K., Carlson, P. J., Bean, J. A. og R. T. Bartoskewitz (1997a): *Traffic violations at gated highway-railroad grade crossings*. Texas Transportation Institute, rapport 2987-1, USA.
- Fitzpatrick, K., Bartoskewitz, R. T. og P. J. Carlson (1997b): *Demonstration of automated enforcement systems at selected highway-railroad grade crossings in Texas*. Texas Transportation Institute, rapport 2987-2F, USA.
- FRA (2002): *North Carolina "Sealed Corridor" Phase I: U.S. DOT Assessment Report*. Federal Railroad Administration, Washington D.C., USA.

GEI (1994): *Focus Group Study of Consumer Attitudes toward Highway-Rail Grade Crossings*. Global Exchange Incorporated, Washington D.C., USA.

Griffioen, E. (2004): Improving level crossings using findings from human behaviour studies. *Proceedings of 8th International Level Crossing Symposium*, Sheffield, Storbritannien.

Halkias, J. og L. Blanchard (1989): Accident Causation Analysis at Railroad Crossings Protected by Gates. *Transportation Research Record* 1114, pp. 123-130, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.

Heathington, K. W., Fambro, D. B. og S. H. Richards (1989): Field Evaluation of a Four-Quadrant Gate System for Use at Railroad-Highway Grade Crossings. *Transportation Research Record* 1244, pp. 39-51, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.

Hellman, A. D., Carroll, A. A. og D. M. Chappell (2007): *Evaluation of the School Street Four-Quadrant Gate/In-Cab Signalling Grade Crossing System*. Federal Railroad Administration, rapport ORD-07/09, Washington D.C., USA.

Jensen, S. U. (2007): *Bilisters oplevede serviceniveau: Et litteraturstudium*. Trafitec, Danmark.

Ko, B., Courage, K. og M. Willis (2003): *Video Based Studies of Flexible Traffic Separators at Highway-Railroad Grade Crossings*. University of Florida, rapport UFTRC 891-2, Gainesville, USA.

LACMTA (2000): *Four-Quadrant Gate Trial Installation Project Results Report*. Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority, USA.

Meeker, F. L. og R. A. Barr (1989): An observational study of driver behaviour at a protected railroad grade crossing as trains approach. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 21, no. 3, pp. 255-262.

Meeker, F., Fox, D. og C. Weber (1997): A Comparison of Driver Behavior at Railroad Grade Crossings with Two Different Protection Systems. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 29, no. 1, pp. 11-16.

Moon, Y. J. og F. Coleman (1999): Driver's Speed Reducing Behavior at Highway Rail Intersections. *Proceedings of 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., USA.

Oh, J., Washington, S. P. og D. Nam (2006): Accident prediction model for railway-highway interfaces. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 38, pp. 346-356.

Parker, S. A. (2002): *Second Train Coming Warning Sign Demonstration Projects*. Transit Cooperative Research Program, Federal Transit Administration, Washington D.C., USA.

Richards, S. H. og K. W. Heathington (1990): Assessment of Warning Time Needs at Railroad-Highway Grade Crossings with Active Traffic Control. *Transportation Research Record* 1254, pp. 72-84, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.

Richards, S. H., Heathington, K. W. og D. B. Fambro (1990): Evaluation of Constant Warning Times Using Train Predictors at a Grade Crossing with Flashing Light Signals. *Transportation Research Record* 1254, pp. 60-71, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.

Richards, S. H., Margiotta, R. A. og G. A. Evans (1991): *Warning Time Requirements at Railroad-Highway Grade Crossings with Active Traffic Control*. Federal Highway Administration, rapport FHWA-SA-91-007, Washington D.C., USA.

Shinar, D. og S. Raz (1982): Driver response to different railroad crossing protection systems. *Ergonomics*, vol. 25, no. 9, pp. 801-808.

Sposato, S., Bien-Aime, P. og M. Chaudhary (2006): *Public Education and Enforcement Research Study*. Federal Railroad Administration, rapport ORD-06/27, Washington D.C., USA.

Tenkink, E. og R. Van der Horst (1990): Car driver behaviour at flashing light railroad grade crossings. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 22, no. 3 pp. 229-239.

Van der Horst, R. og P. Bakker (2004): Safety measures at railway level crossings and road user behaviour. *Proceedings of 8th International Level Crossing Symposium*, Sheffield, Storbritannien.

Vijendran, M., Beard, M. og G. Stevens (2004): Red Light Violations at Level Crossings. *Proceedings of 8th International Level Crossing Symposium*, Sheffield, Storbritannien.

Ward, N. J. og G. J. S. Wilde (1995): A Comparison of vehicular approach speed and braking between day and nighttime periods at an automated railway crossing. *Safety Science*, vol. 19, pp. 31-44.

Wilde, G. J. S., Hay, M. C. og J. N. Brites (1987): *Video-Recorded Driver Behaviour at Railway Crossings: Approach Speeds and Critical Incidents*. Transport Canada, rapport TP 9014E, Montreal, Canada.

Yeh, M. og J. Multer (2007): Traffic Control Devices and Barrier Systems at Grade Crossings: A Literature Review. *Proceedings of 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., USA.