



Usikrede jernbaneoverskæringer

Faktorer relateret til vejtrafikanternes præstationer og effekter af diverse tiltag

Søren Underlien Jensen
November 2006

Trafitec
Forskerparken Scion-DTU
Diplomvej, Bygning 376
2800 Kgs. Lyngby
www.trafitec.dk

Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	3
1. Indledning.....	5
2. Trafikantfaktorer ved overskæringer	7
2.1 Afstands- og hastighedsbedømmelse.....	7
2.2 Kritisk interval og rømningstid.....	8
2.3 Sigtlængder	11
3. Risikostudier og tiltag	13
3.1 Risikostudier	13
3.2 Enkelte tiltag	14
Referencer	18

Sammenfatning

Der findes i dag ikke megen viden om vejtrafikanterers præstationer ved usikrede jernbaneoverskæringer, hvor tog kører hurtigt. Der findes ikke præcis viden om:

- Vejtrafikanterers afstands- og hastighedsbedømmelse af tog,
- vejtrafikanterers accept og forkastelse af huller i trafikstrømmen af tog, og
- opdateret viden om rømningstider for biltrafik, herunder rømningstider for store køretøjer som 25,25 meter lastbiler og landbrugsmaskiner med flere påhængere – på veje med forskellig beskaffenhed og stigningsforhold.

Der er ingen tvivl om, at vejtrafikanter undervurderer togets hastighed, når toget blot kører over 50-60 km/t. Men det er uvist, hvilken betydning undervurderingen har for ulykkesrisikoen i usikrede jernbaneoverskæringer, hvor togene kører 100 eller 120 km/t. Vejtrafikanterers procentuelle undervurdering af togets ankomst til jernbaneoverskæringen bliver stadig større, jo tættere toget er på overskæringen. Det skyldes, at mennesket synssans inkluderer en række systematiske illusioner.

Det er uvist, om perceptuelle holdepunkter som skilte langs banelinien, særlige lys på toget eller design af toget kan mindske undervurderingen og dens betydning for ulykkesrisikoen. Veksellys på tog mindsker ulykkesrisikoen, men det kan både skyldes, at vejtrafikanter i større udstrækning erkender togets tilstedeværelse og at de er bedre til at vurdere hastighed og afstand, når toget er udstyret med veksellys.

Danske regler for usikrede jernbaneoverskæringer forekommer uhensigtsmæssige under dårlige sigtforhold, såsom tåge, kraftig nedbør o. lign. I afsnit 2.3 er vist de gældende danske sigtlængder. Ved en lang række jernbaneoverskæringer er disse sigtlængder ikke overholdt – endda langt fra.

Såfremt usikrede jernbaneoverskæringer (og overskæringer i øvrigt uden bomme) fortsat eksisterer langt ud i fremtiden, vil det være hensigtsmæssigt at kende til grundlæggende oplysninger om vejtrafikanterernes præstationer for derved at kunne frembringe omkostningseffektive foranstaltninger til forebyggelse af ulykker. Det vil også være relevant at opstille retningslinier for påbud af nedsættelse af togenes hastigheder i relation til ikke overholdte sigtlængder og dårlige sigtforhold.

Litteraturen viser, at der eksisterer en længere serie af tekniske løsninger, som faktisk kan forbedre sikkerheden ved usikrede jernbaneoverskæringer. Selv på markveje og adgangsveje af ringe beskaffenhed er det muligt for relativt lave omkostninger at forbedre sikkerheden ved overskæringer f.eks. ved at skabe en vinkelet krydsning af jernbanen, at reducere vejens stigningsforhold, at øge sigtlængder, osv. Udover tekniske løsninger kunne kampagner og undervisning være vejen frem for bedre sikkerhed i relation til jernbaner.

1. Indledning

Formålet med litteraturstudiet er at belyse vejtrafikanter afstands- og hastighedsbedømmelse, særligt i relation til tog og usikrede jernbaneoverskæringer i niveau. Med usikrede jernbaneoverskæringer menes, at der hverken er automatiske bremse, lys- eller lydsignaler til regulering af trafikken. Studiet indeholder også henvisninger til at forbedre sikkerheden ved usikrede jernbaneoverskæringer. I litteraturgennemgangen er det fundet naturligt at inddrage andre emner f.eks. kritisk interval, rømningstid og uheldsmodeller. Studiet er baseret på nyere litteratur om emnet. Vejdirektoratet, der har initieret og finansieret dette studie, er især interesseret i situationer, hvor toget kører med hastigheder på 100-120 km/t.

Trafikanter kombinerede afstands- og hastighedsbedømmelse studeres ofte ud fra bedømmelser af tidsafstande. Her måles oftest forskelle i trafikanters opfattede og den virkelige "time-to-contact" (TTC).

Med TTC menes tiden, som et objekt, f.eks. et tog eller en bil, skal anvende for at bevæge sig hen til og ramme én selv, idet bevægelsen af objektet fortsætter med konstant fart og retning. TTC kaldes nogle gange også for "time-to-collision". Trafikanter mulighed for at kontrollere TTC og derved undgå uheld afhænger således bl.a. af deres evne til samtidig at bedømme afstande og hastigheder.

I trafikken er der i mange tilfælde tale om, at trafikanten bedømmer både sin egen og andres tidsafstande samtidigt. Det kan f.eks. være ved en jernbaneoverskæring, hvor vejtrafikanten skal bedømme sin egen og togets tidsafstand til overskæringen (konfliktområdet). Modpartens, altså togets, tidsafstand til konfliktområdet kaldes ofte "time-to-arrival" (TA).

Der er to meget forskellige tilfælde i relation til vejtrafikanter krydsning af en usikret jernbaneoverskæring. I det ene tilfælde er vejtrafikanten i fart før krydsningen, mens der i det andet tilfælde er tale om en vejtrafikant, der krydser jernbanen fra et stillestående udgangspunkt.

I sin bedømmelse af, om det er sikkert at krydse jernbanen, er vejtrafikanten i fart meget afhængig af oversigtsforholdene før overskæringen. Derudover skal denne vejtrafikant kunne bedømme sin egen tidsafstand fra stedet, hvor beslutningen om at krydse jernbanen tages, til umiddelbart efter overskæringen. I denne situation kan der forekomme en dilemmazoneproblematik, altså et tidsrum, hvor trafikanten skal beslutte sig for en kraftig evt. katastrofeopbremsning eller at fortsætte og evt. speede op for at nå over inden toget ankommer. Situationer med vejtrafikanter i fart forekommer primært ved overskæringer med tinglyst oversigt og afmærkning alene (eller hvor vejtrafikanter har ikke har lukket ledene i overskæringer sikret med led). Situationer med vejtrafikanter i fart bør ifølge regler for sikring af jernbaneoverskæringer kun forekomme ved hastigheder på tog på højest 75 km/t.

Fra stillestående er situationen anderledes. Her forekommer der ikke en dilemma-zoneproblematik. Vejtrafikanterens bedømmelse af den tid det tager at krydse jernbanen er også meget anderledes, da det involverer igangsætning, acceleration og bevægelse ud af konfliktområdet. Endelig er orienteringssituationen forskellig, da oversigtsforholdene er anderledes tæt ved jernbanen end langt fra. Situationer med krydsende vejtrafikanter fra stillestående forekommer ofte ved overskæringer sikret med led. Sikring med led forekommer ofte ved hastigheder på tog på mellem 75 og 120 km/t.

I begge tilfælde er der en række interessante forhold:

- "Gap acceptance" (GA), altså accept eller forkastelse af huller i trafikstrømmen (af toge) til at krydse trafikstrømmen (jernbanen).
- "Kritisk interval", hvilket er et standardudtryk, der benyttes i relation til GA. Kritisk interval er det tidsrum på et hul i trafikstrømmen, hvor der er lige så mange som hhv. accepterer og forkaster hullet i trafikstrømmen.
- "Rømningstid", hvilket i forskningskredse til tider kaldes "time-to-line-crossing" (TTLC). Rømningstiden er tidsrummet, som det tager at krydse konfliktområdet.
- "Sikkerhedsmargin", som er tidsrummet fra, at konfliktområdet (jernbaneoverskæringen) er passeret, til at toget ankommer til konfliktområdet.

GA ved jernbaneoverskæringer er anderledes end ved vejkryds, da togets bremselængde er længere end vejtrafikanterens, og lokoføreren ingen muligheder har for at undvige en kollision ved ændring af retning, men kan blot bruge tyfonen (togets hornsignal) eller nedbremse. En undervurdering af TTLC eller overvurdering af TA i relation til GA er derfor ikke så kritisk i et vejkryds som ved en jernbaneoverskæring.

2. Trafikantfaktorer ved overskæringer

Der er ikke fundet studier af hastigheds- og afstandsbedømmelse af tog i litteratursøgningen. Der er heller ikke fundet hastigheds- og afstandsbedømmelse af biler med hastigheder, der kører væsentligt hurtigere end 80 km/t. Det er således ikke muligt at angive præcise resultater af hastigheds- og afstandsbedømmelse for jernbaneoverskæringer med tog, der kører med hastigheder på 100-120 km/t.

Der er fundet mange studier af biler, der kører med hastigheder omkring 30-80 km/t, samt eksperimentelle studier i forsøgsopstillinger eller køresimulatorer. I det følgende beskrives nogle af de mest relevante pointer i disse studier. Udover hastigheds- og afstandsbedømmelser ses på kritisk interval, rømningstider osv.

2.1 Afstands- og hastighedsbedømmelse

For mere end 20 år siden fremsatte Leibowitz (1985), der er en anerkendt forsker af menneskets synssans, en hypotese om, hvorfor der forekom så mange uheld ved jernbaneoverskæringer. Leibowitz påstod, at hastigheden af store objekter såsom tog bliver underestimeret af observatører på grund af en normal mangel i menneskers visuelle behandling. Cohn og Nguyen (2003) efterviste senere på baggrund af forsøgsopstillinger, at Leibowitz havde ret.

Faktisk er relationen mellem objektets størrelse og fejlvurderingen af hastigheden blot én af flere systematiske illusioner, der er del af menneskets synssans. Baseret på en litteraturgennemgang af hundredvis af studier om menneskets synssans angiver Changizi et al. (2006) en syntese om at følgende ...

- 1) mindre størrelse,
- 2) langsommere hastighed,
- 3) større luminans kontrast,
- 4) længere afstande,
- 5) lavere excentricitet,
- 6) større nærhed til forsvindingspunkt (i perspektiv), og
- 7) større nærhed til udvidelsesbrændpunktet,

... fører til samme perceptuelle effekter, som er ...

- A) større opfattet størrelse,
- B) højere opfattet hastighed,
- C) mindre opfattet luminans kontrast, og
- D) mindre opfattet afstand.

Der er således syv gange fire i alt 28 systematiske illusioner. På baggrund af ovenstående og studier af afstands- og hastighedsbedømmelse i trafikken kan man sige følgende om et stort tog med høj hastighed (100-120 km/t), nemlig at ...

- toget vil fremtræde mindre end det er,
- toget vil fremtræde langsommere end det kører, mens
- afstanden til toget formentligt vil være opfattet rimeligt korrekt.

Samlet set vil det føre til, at vejtrafikanter vil undervurdere togets tidsafstand til jernbaneoverskæringen (time-to-arrival, TA). Undervurderingen af TA vil tiltage, jo hurtigere toget kører. Med andre ord vil uheldsfrekvensen (og samtidig uheldets alvorlighed) stige, jo hurtigere toget kører. Uheldsmodeller viser da også, at uheldsfrekvensen stiger, jo hurtigere toget kører.

Carthy et al. (1995) udførte en serie videoeksperimenter, hvor 181 personer skulle bedømme tidsafstande til biler hhv. 20 og 60 meter fra dem og med hastigheder på 32, 40, 48, 56, 64 og 72 km/t. Eksperimenterne blev udført ved at lade et 7 sekunder langt videoklip gå i sort præcis, hvor biler er 20 og 60 meter væk, hvorefter testpersoner skal trykke på en knap, når de tror bilen på videoen er lige ud for dem. Det viste sig, at testpersonerne var forholdsvis ringe til at bedømme bilers hastighed, men bedre til afstandsbedømmelse. Således vurderede testpersonerne tidsafstanden korrekt ved biler kørende 32 km/t i 20 meters afstand, mens de undervurderede tidsafstanden med ca. 1,0 sekund ved 72 km/t i 20 meters afstand. Ved en afstand på 60 meter blev tidsafstanden overvurderet med ca. 3,1 sekunder ved 20 km/t, mens tidsafstanden blev undervurderet med ca. 1,3 sekunder ved 72 km/t. Studiet er således i overensstemmelse med ovenstående om systematiske illusioner. Testpersonernes evne til at foretage bedømmelser var hang primært sammen med deres matematisk-rumlige intelligens. Havde man lavet bedømmelser ved hastigheder på 100 og 120 km/t ved en afstand på 60 meter, vil tidsafstanden til bilen formentligt have været undervurderet med omkring 1,5-2,3 sekunder ved 100 km/t (svarende til 42-64 meter) og 1,8-2,5 sekunder ved 120 km/t, hvilket svarer til, at toget kører 60-83 meter. Altså en voldsom undervurdering af bilernes hastighed.

2.2 Kritisk interval og rømningstid

David Ragland ved University of California at Berkeley udfører for tiden et studie af kritisk interval (gap acceptance / rejection) ved jernbaneoverskæringer. Det har dog ikke været muligt at få foreløbige resultater.

Et amerikansk studie (Zwahlen og Schnell, 1999) giver konkret indblik i, hvor tæt biler passerer foran toget. I dette studie blev to nye skilte evalueret hhv. Buckeye Crossbuck og Standard Improved ift. den ældre version Old Crossbuck. Togene skulle i dette studie bruge tyfonen (togets hornsignal) fra 1.600 fod (488 meter) før jernbaneoverskæringen til toget nåede frem til overskæringen. I togene var

monteret videokameraer, der filmede, når tyfonen blev aktiveret. Mange tog kørte forholdsvis langsomt, og en del biler passerede jernbaneoverskæringen ulovligt, mens tyfonen tudede. Nogle biler var ulovligt først passeret jernbaneoverskæringen helt ned til 2 sekunder før toget ankom til overskæringen. Halvdelen af de ulovlige passager, skete mindre end 20-26 sekunder før toget ankom til jernbaneoverskæringen afhængigt af skiltetype. Forfatterne mente at have bevist, at de nye skilte var bedre end det gamle, fordi en mindre andel af bilerne passerede med små tidsafstande. Ses nærmere på tallene, viser det sig, at dette tilsyneladende primært ser ud til at skyldes, at en del tog i perioden med nye skilte kun kørte 20 km/t, mens den laveste hastighed med gamle skilte var 40 km/t.

Ovenstående studie illustrerer et væsentligt fænomen i relation til jernbaneoverskæringer, nemlig falske alarmer eller ”ulven kommer”. Brug af tyfonen vil i den ovenstående situation opfattes af mange bilister som et signal om, at der går lang tid før et tog passerer jernbaneoverskæringen, da det er deres erfaring, at tyfonen tuder i lang tid før toget ankommer. Det samme vil være tilfældet, hvis klokker eller blinkende lys advarer i for lang tid, før toget ankommer.

I Danmark benyttes tyfonen kun ved ”giv agt” mærker med ét kort fløjt, ikke som i USA med en meget lang tuden frem til overskæringen. Et kort fløjt giver mindre støjgener for banens naboer, men kan faktisk være svært at retningsbestemme. Desuden kan fløjterne muligvis ikke blive hørt i f.eks. visse landbrugsmaskiner, hvor arbejdsmiljøregler evt. endda påbyder brug af høreværn, men kan også vanskeligt høres sammen med høj musik. Et kort fløjt giver samme ”ulven kommer” problemstilling.

At krydse en vej eller en jernbaneoverskæring kan opdeles i et sæt af forskellige processer f.eks. orientering-beslutning-igangsætning-acceleration-færdsel. Det viser sig, at tidsrummet, disse processer tager, afhænger af mange forhold såsom personens kognitive, perceptuelle, visuelle og fysiske færdigheder samt køretøjets accelerationsegenskaber.

Beslutningsreaktionstiden eller blot reaktionstiden, der indeholder orienterings- og beslutningsprocesser, varierer meget i udstrækning lige fra ”rygmarvsreaktioner” til processer med stor ubeslutsomhed. Eksempelvis fandt Oxley et al. (2005a) i et simulatorstudie af fodgængeres krydsning af veje, at reaktionstiden varierede fra 0,15 til 8,01 sekunder. Variationen i og gennemsnittet af reaktionstiden var større, jo ældre testpersonerne var. Yngre (personer i den erhvervsaktive alder) fodgængere accepterer huller i trafikken, der afstandsmæssigt i meter er kortere, end ældre fodgængere. Men ældre fodgængere er ringere til at vurdere bilernes hastighed og deres eget tidsforbrug til at krydse vejen end yngre fodgængere. Derfor er tidsafstanden eller sikkerhedsmarginen mellem bil og fodgænger mindre blandt ældre til fods, især ved høje bilhastigheder, ved brede veje, og på vejens fjerneste side set i forhold til starten af krydsning. I øvrigt er også børn ringere til at vurdere bilers hastighed end voksne (Connelly et al, 1998).

Tiden, der anvendes til igangsætning og acceleration, er også varierende og forskellig fra person til person. I et andet simulatorstudie af cyklisters krydsning af veje fandt Plumert et al. (2004), at 10-årige brugte længere tid til igangsætning og acceleration end 12-årige, der igen var længere tid om det end voksne. Samtidig var variationen i tiden til igangsætning og acceleration størst blandt 10-årige og mindst blandt voksne. Voksne cyklede samtidigt hurtigere, når man var oppe i fart. Accelerationen var kraftigere og varede længere tid blandt voksne. Studiet viste tillige, at børns kritiske interval er det samme som voksnes uanset bilernes hastighed. Sikkerhedsmarginen mellem bil og cyklist er derved mindre for børn på cykel, når de krydser vejen, fordi de er langsommere til at accelerere og cykle.

Der er udført utroligt mange studier af børns, voksnes og ældres kritiske interval, reaktionstid, igangsætning/acceleration og færdselshastighed i relation til krydsning af veje. Det vil her blive for omfattende at nævne alle studier på samme måde som ovenfor. I stedet forsøges her at give en kortfattet syntese. Syntesen er baseret på bl.a. følgende kilder; Carthy et al. (1995), Connelly et al. (1998), Jensen og Hummer (2002), Middleton et al. (2004), Oxley et al. (2004; 2005a; 2005b), Plumert et al. (2004), Schiff et al. (1992), Scialfa et al. (1991), samt Vaughan og Bain (2001).

Børns og ældres præstationer er ringere end voksnes, hvilket primært kan aflæses i, at deres sikkerhedsmarginer er tidsmæssigt kortere. Men baggrunden for ringere præstationer er meget forskellige. Børns færdigheder (og erfaringsgrundlag) er endnu ikke færdigudviklet, og dette medfører ringere præstationer. Variationen i præstationerne mellem børn er lige så beskeden som mellem voksne, men det enkelte barns præstationer er mere ustabil end voksnes, og derfor er variationen i præstationer større blandt børn end blandt voksne.

Ældres ringere præstationer skyldes svigtende færdigheder blandt en gruppe af ældre, der dog udgør en stadig større andel af populationen med stigende alder, og svigtene tiltager samtidig i styrke med alderen. Variationen i præstationer mellem ældre er derfor større end mellem voksne. Præstationer blandt ældre med større svigt er samtidigt mere ustabile, hvilket synes at skyldes utålmodighed i relation til deres større kritiske interval – de accepterer et kort hul i trafikken, fordi der går meget lang tid før et tilpas langt hul, der ellers opfylder deres krav til sikkerhedsmargin, forekommer. Det ser også ud til, at forskelle i præstationer mellem voksne og ældre er større til fods og på cykel end i bil, formentligt fordi mange ældre med større svigt ikke fører bil.

I bil er ældres kritiske interval afhængig af bilernes hastighed samt situationens kompleksitet. I simple situationer med høje bilhastigheder accepterer en ældre bilfører kortere afstande til køretøjer, som de skal krydse, end en ung eller midaldrende bilfører. Det modsatte gør sig gældende ved lave bilhastigheder i komplekse situationer.

Transportform og alder	Afstand mellem køretøjer, der krydses (meter)	Tidsforbrug til orientering og beslutning	Tidsforbrug til igangsætning og acceleration	Hastighed efter acceleration
Gang – børn	Længere	Større	Det samme	Langsommere
Gang – ældre	Længere	Større	Større	Langsommere
Cykel – børn	Det samme	Det samme	Større	Langsommere
Cykel – ældre	Længere	Større	Større	Langsommere
Bil – ældre	Kortere-længere	Større	Større	Det samme

Tabel 1. Syntese af børns og ældres præstationer i forhold til voksnes i forbindelse med krydsning af vej.

Ses tabel 1 i relation til jernbaneoverskæringer med toghastigheder på 100-120 km/t, har måske særligt ældre bilister problemer, fordi de kraftigt undervurderer togets hastighed i den simple situation, og vælger mindre kritiske intervaller end andre trafikanter samt at det tager længere tid for dem at passere overskæringer. Men det kan jo være, at ældre bilister kompenserer særligt meget for de svigtende færdigheder, netop ved jernbaneoverskæringer.

2.3 Sigtlængder

I de danske vejregler opereres med rømningstider på 18 sekunder for vejtrafik (landbrugsmaskiner) og 12 sekunder for stitrafik (gang og cykling) ved jernbaneoverskæringer (Vejdirektoratet, 1993). Dette giver følgende relevante minimumkrav til sigtlængder ud ad banelinien (7 meter fra nærmeste skinne):

Togets hastighed	Veje	Stier
75 km/t	375 m	250 m
90 km/t	450 m (408 m)	300 m
100 km/t	500 m (453 m)	350 m
120 km/t	600 m (544 m)	400 m

Tabel 2. Sigtlængder ud ad banelinien ifølge danske vejregler (Vejdirektoratet, 1993). I parentes er angivet sigtlængder fra amerikanske vejregler.

Grundlaget for rømningstider og sigtlængder er ikke eksplicit givet i den danske vejregel. Det er tilkendegivet, at de 18 sekunders rømningstid for vejtrafik er beregnet af DSB på grundlag af kørselsforsøg med landbrugsmaskiner. I beregningen bruges et 18 meter langt køretøj med en lille acceleration på 1 m/s^2 og forudsættes at skulle være passeret overskæringer (toget) med bagenden med 10 meter.

I de amerikanske regler opereres med lidt andre sigtlængder (AASHTO, 2001). De viste sigtlængder i tabel 2 svarer til en rømningstid på 16,3 sekunder, og er beregnet ud fra, at en 20 m lang lastbil krydser jernbaneoverskæringer.

Hvis vi anlægger en rimelighedsbetragtning for stier, er det den ældre fodgænger, som fastlægger sigtlængder. Her vil følgende tider og hastigheder være et rimeligt udgangspunkt:

- reaktions- og opstartstid: 2,5 sekunder
- ganghastighed: 1,0 m/s

På 12 sekunder vil den langsomme fodgænger således kunne gå 9,5 meter.

Det er her vigtigt at påpege, at selvom vej- og stitrafikanter fejlvurderer togets ankomsttid, TA, bør det ikke have indflydelse på fastlæggelse af rømningstid og sigtlængder. Det skyldes, at vej- og stitrafikanter undervurderer togets hastighed. Hvis de derimod overvurderede togets hastighed, vil det øge sikkerheden ved at operere med længere rømningstider og sigtlængder.

Det er ikke muligt at vurdere rømningstider og sigtlængder for biltrafikken. Rømningstiderne vil formentligt være stærkt påvirket af vejens beskaffenhed og stigningsforhold. Det vil derfor være nødvendigt at foretage nye kørselsforsøg for at kunne revurdere forudsætningerne.

I tåge vil sigten være ringere, hvilket medfører en større nærhed til forsvindingspunktet, hvilket så medfører, at vejtrafikanter vurderer af togets hastighed bliver mere korrekt. Dog vil de meget lange sigtlængder være et problem i tåge, hvilket vil medføre sikkerhedsproblemer, hvis foranstaltninger ikke foretages f.eks. lavere hastighed på toget, brug af tyfon eller midlertidig lukning af overskæring.

3. Risikostudier og tiltag

I dette kapitel ses på nogle studier af udvalgte tiltag og risiko, der viser forskelle i uheldsforekomst afhængig af udformningen af jernbaneoverskæringen.

3.1 Risikostudier

Risikoen ved den enkelte type af jernbaneoverskæring i niveau er meget forskellig ifølge Cedersund (2006), se tabel 3. Af tabel 1 kan det erfares, at typen af jernbaneoverskæring har stor betydning for uheldsfrekvensen. Det er her vigtigt at påpege, at den svenske undersøgelse ikke tager højde for sammenhængen mellem uheldsfrekvens og trafikmængde. I kryds med meget trafik er uheldsfrekvensen lavere end i kryds med lidt trafik. Men selv hvis man tog højde for sammenhængen vil der stadig være store forskelle i uheldsfrekvensen. Cedersund skriver endvidere, at to ud af tre jernbaneoverskæringer i niveau er forsvundet på 25 år, altså nedlagt eller ændret til niveaufrie krydsninger. Samtidig er reguleringen ændret i hovedparten af de tilbageværende jernbaneoverskæringer i niveau. Og slutteligt er risikoen ved den enkelte type af jernbaneoverskæring i niveau reduceret.

Type af jernbaneoverskæring i niveau	Risiko 1973-1977	Risiko 1999-2004
Hele bomme	0,53	0,20
Halve bomme	1,10	0,27
Lyd og lys (intelligent varsling)	10,41	9,01
Krydsmarkering (skilt)	34,31	23,97
Ureguleret	-	25,06

Tabel 3. Uheldsfrekvens ved jernbaneoverskæringer – antal uheld divideret med antal biler og tog (Cedersund, 2006).

Railroad-Highway Grade Crossing Handbook (Tustin et al., 1986) er udviklingen i amerikanske uheldsmodeller for jernbaneoverskæringer beskrevet. *Peabody Dimmick Formula* fra 1941 angiver en sammenhæng mellem forventede uheld over en 5-årig periode på den ene side og mængder af bil- og togtrafik samt en ”beskyttelseskoefficient” på den anden side. Den relative risiko ved forskellige udformninger kan opgøres ud fra denne beskyttelseskoefficient til; skilt (0,61), klokke (0,56), blinkende lys (0,46) og automatiske bomme (0,37). I 1941 skulle automatiske bomme altså således kun være ca. 1,6 gange sikrere end et skilt (advarselstavlen ”Crossbucks”).

New Hampshire Index er en lignende tidlig men mere kompliceret uheldsmodel. Her er beskyttelseskoefficienten anderledes; skilt (1,00), blinkende lys (0,20-0,60) og automatiske bomme (0,10-0,13). De automatiske bomme er her således ca. 10 gange sikrere end et skilt.

NCHRP 50 Hazard Index fra 1968 er mere simpel og ligner de uheldsmodeller, der findes for vejtrafik. Her er beskyttelseskoefficienten; skilt (3,06 i by og 3,08 på land), blinkende lys (0,23 i by og 0,93 på land) og automatiske bomme (0,08 i by og 0,19 på land). De automatiske bomme er her således ca. 38 gange sikre i by og 16 gange sikre på land end et skilt.

Den seneste amerikanske model er den såkaldte *USDOT Accident Prediction Equations*. Denne tre trins model opererer ikke med en "beskyttelseskoefficient", men med særskilte modeller jernbaneoverskæringsens advarselsudstyr, og derfor er det ikke umiddelbart muligt at angive, hvor meget sikrere automatiske bomme og blinkende lys er end overskæringer kun med skilte.

Oh et al. (2006) beskriver en koreansk model for jernbaneoverskæringer i niveau. Modellen viste bl.a., at bump på vejen før jernbaneoverskæringen var ensbetydende med færre uheld.

En anden model af Austin og Carson (2002) viste, at antallet af tog om natten, udformningen af overskæringen mellem skinnerne, kørebaneafmærkning, forekomst af almindelig lyssignal (rød, gul, grøn) samt forekomst af advarselsklokke har betydning for antallet af uheld.

3.2 Enkelte tiltag

I afsnittet er effekter af enkelte tiltag i relation til usikrede jernbaneoverskæringer omtalt ud fra en række kilder og undersøgelser.

Washington og Oh (2006) angiver effekter af 18 tiltag på baggrund af 32 tidligere undersøgelser. I tabel 4 er vist effekter af 9 relevante tiltag.

Tiltag	Sikkerhedseffekt
Bump (fartdæmpende tiltag på vejen)	36-40 %
Skabelse af vinkelret krydsning af jernbane	29-45 %
Forvarsling af jernbaneoverskæring	0-50 %
Reduktion af vejens stigningsforhold ved overskæring	39-47 %
Forbedret sigtlængde til jernbaneoverskæring	0-50 %
Forbedret sigtlængde ved jernbaneoverskæring til tog	10-41 %
Anlæg af fodgængerbomme	0-50 %
Anlæg af vejbelysning	15-45 %
Stoptavle	38-46 %

Tabel 4. Gennemsnitlige sikkerhedseffekter af tiltag. Der er angivet fald i uheld. (Washington og Oh, 2006)

Saccomanno et al. (2006) angiver gennemsnitlige effekter af 18 forskellige tiltag fundet i 91 tidligere undersøgelser. I tabel 5 er vist effekter af de 14 tiltag, som har relation til usikrede jernbaneoverskæringer.

Tiltag	Sikkerhedseffekt
Anlæg af niveaufri skæring / lukning af overskæring	100 %
Tavle for ubetinget vigepligt	19 %
Stoptavle	35 %
Forvarsling af stoppligt forude	35 %
Stoplinie	28 %
Vejbelysning	44 %
Kørebaneafmærkning	21 %
Fra skilte til blinkende lygter	54 %
Fra skilte til halvbomme	72 %
Anlæg af almindelige vejtrafik signalanlæg	64 %
Ophævelse af forbud mod brug af tyfon	53 %
Forbedring af sigtlængder	34 %
Forbedring af vejbefæstelser	48 %
Reduceret hastighedsbegrænsning	20 %

Tabel 5. Gennemsnitlige sikkerhedseffekter af tiltag. Der er angivet fald i uheld. (Saccomanno et al., 2006)

En New Zealandsk undersøgelse af fire typer af sikkerhedstiltag i relation til fodgænger-jernbaneoverskæringer er udført af Lobb et al. (2003). Undersøgelsen beskriver et program med sikkerhedstiltag, der har til formål at reducere skole-drenge ulovlige krydsning af jernbanen på vej til og fra skole. Tiltagene var hhv. oplysningskampagner, undervisning, altid straf (eftersidning i skolen på dagen for hver observeret ulovlig krydsning) og regelmæssig straf (ugentlig eftersidning i skolen, hvis ulovlig krydsning observeret i løbet af ugen). Antallet af ulovlige krydsning faldt svagt med oplysningskampagner (ca. 13 procent), men faldt signifikant med hhv. undervisning, altid og regelmæssig straf. Det største fald blev opnået med altid straf, hvor antallet af ulovlige krydsninger faldt med ca. 76 procent, mens faldet var lidt mindre med regelmæssig straf (ca. 69 procent) og betydeligt mindre med undervisning (ca. 35 procent).

Mok og Savage (2005) beskriver effekter af flere tiltag. Effekter er opgjort ud fra en undersøgelse af den sikkerhedsmæssige udvikling ved jernbaneoverskæringer i USA 1975-2001, og er derfor behæftet med større usikkerhed. Undersøgelsen viser, at to femtedele af faldet i uheld og dræbte ved jernbaneoverskæringer kan tilskrives den generelle forbedring af trafikikkerheden i vejtrafikken bl.a. som følge af fald i spirituskørsel, øget brug af sikkerhedssele, forbedrede køretøjer, osv. En femtedel af faldet i uheld og dræbte tilskrives anlæg af bomme og blin-

kende lys. En syvendedel tilskrives kampagner. En syvendedel tilskrives nye lys på togene (ditch lights – tre lysgivere, veksellys). Endelig kan den sidste tiendedel tilskrives nedlæggelse af jernbaneoverskæringer. Forfatterne oversætter udviklingerne til effekter af tiltag. Lukning af 10 procent af jernbaneoverskæringerne i USA har ført til 5,1 procent færre uheld og 2,7 procent færre dræbte i overskæringer. Forklaringen på, at det ikke fører til 10 procents fald i uheld og dræbte er, at det hovedsageligt er mindre befærdede overskæringer som lukkes, og en lukning fører til uheldsmigration til nærtliggende overskæringer. Anlæg af sikring (bomme, blinkende lys o. lign) i usikrede overskæringer fører til fald i uheld og dræbte på hhv. 48 og 31 procent. Operation Lifesaver, der er amerikansk undervisning og kampagner om jernbaneoverskæringer, har medført et fald i samtlige uheld og dræbte ved overskæringer på hhv. 15 og 19 procent. Indførelse af veksellys har medført fald i uheld og dræbte på hhv. 29 og 44 procent.

Noyce og Fambro (1998) evaluerede en advarselstavle med strobelys (kraftigt hvidt hurtigt blinkende lys), der blev aktiveret ved bilers kørsel over en spole i vejen. Tavlen advarede om jernbaneoverskæring forude og undertavlen viste ”Look for train at crossing”. Strobelyset var placeret over tavlen. Tavlen stod placeret 175 m fra overskæringen et sted i Texas, USA. Spolen der aktiverede strobelyset i 8 sekunder var placeret 170 m opstrøms i forhold til tavlen. Ved selve overskæringen stod – og havde hele tiden stået – et krydsmarkeringsskilt (old cross-buck) med jernbaneoverskæring, og dette var den eneste varsling af overskæringen i førperioden. Evalueringen viste, at bilernes hastighed faldt særligt om natten og særligt i afstand af 50-200 m fra overskæringen. Ud fra en spørgeundersøgelse og adfærdsstudie mener forfatterne at kunne dokumentere, at tavle og strobelys har øget bilførernes opmærksomhed mod jernbaneoverskæringen og agtpågivenhed, og dette særligt i mørke lysforhold.

Brug af tyfonen (togets hornsignal) om natten ved jernbaneoverskæringer blev forbudt for visse tog i Florida. Dette forbud medførte ca. 140-280 procent flere uheld om natten (FRA, 2000). Senere studier viste, at forbud mod brug af tyfonen i dagslys medførte en stigning på hhv. 84 og 62 procent (FRA, 2000). Tyfonen giver dog anledning til betydelige støjgener for jernbanens naboer. Her viste et studie af automatiserede tyfonen placeret ved jernbaneoverskæringen i stedet for på toget, at det var muligt at dæmpe støjen meget kraftigt (Gent et al., 2000). En anden rapport viste, at brug af overskæringstyfoner, der tuder i 17 sekunder før toget ankommer, i stedet for tyfoner på toge, faktisk reducerede støjen med 65-85 procent og samtidig reducerede antallet af ulovlige kørsler over sporene imens tyfonen tuder med hele 68 procent (Raub og Lucke, 2003).

Stephens og Long (2003) evaluerede afmærkning af boksmarkeringer på de dele af kørebanen efter en jernbaneoverskæring nær signalregulerede vejkryds, hvor det kan være uhensigtsmæssigt eller farligt at stoppe bilen og især lange køretøjer. Evalueringen viste, at boksmarkeringerne reducerede antallet af stop på de steder, hvor markeringerne var med hhv. 36 og 39 procent og reducerede antallet af stop på selve jernbaneoverskæringen med hhv. 42 og 60 procent.

Ward og Wilde (1995) evaluerede stoptavlens effekt ved jernbaneoverskæringer. Evalueringen viste, at bilisterne reducerede deres hastighed og brugte mere tid til orientering (især omkring 20 før overskæringen) efter tog efter stoptavlerne var opført. Men andelen af bilister, der stoppede ved jernbaneoverskæringen, forblev uændret.

Referencer

AASHTO (2001): *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 4th edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., USA.

Austin, R. D. og J. L. Carson (2002): An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 34, pp. 31-42.

Cedersund, Hans-Åke (2006): *Trafiksikkerhet i plankorsninger mellan väg och järnväg 1999-2004*, Rapport 540, VTI, Linköping, Sverige.

Changizi, Mark A.; Andrew Hsieh; Ryota Kanai; Romi Nijhawan og Shinsuke Shimojo (2006): *Perceiving-the-present and a systematization of the effects of size, speed, contrast, distance, eccentricity and vanishing point on perceived size, speed, contrast and distance*, Sloan-Swartz center for Theoretical Neurobiology, Caltech, Californien, USA.

Cohn, T. E. og T. Nguyen (2003): Sensory Cause of Railroad Grade-Crossing Collisions: Test of the Leibowitz Hypothesis, *Transportation Research Record 1843*, TRB, National Research Council, Washington D.C., USA.

Connelly, Marie L.; Helen M. Conaglen; Barry S. Parsonson og Robert B. Isler (1998): Child pedestrians' crossing gap thresholds, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 30, pp. 443-453.

FRA (2000): *Use of Locomotive Horns at Highway-Rail Grade Crossings*, Federal Railroad Administration, U.S. Department of Transportation, USA.

Gent, Steve J.; Scott Logan og David Evans (2000): Automated-horn warning system for highway-railroad grade crossings : Evaluation at three crossings in Ames, Iowa, , *Transportation Research Record 1708*, TRB, National Research Council, Washington D.C., USA.

Jensen, Søren Underlien og Camilla Hviid Hummer (2002): *Sikre skoleveje*, Rapport 3, Danmarks TransportForskning.

Leibowitz, H. W. (1985): Grade Crossing Accidents and Human Factors Engineering, *American Scientist*, pp. 534-540.

Lobb, Brenda; Niki Harré og Nicola Terry (2003): An evaluation of four types of railway pedestrian crossing safety intervention, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 35, pp. 487-494.

Noyce, David A. og Daniel B. Fambro (1998): Enhanced Traffic Control Devices at Passive Highway-Railroad Grade Crossings, *Transportation Research Record 1648*, TRB, National Research Council, Washington D.C., USA.

Middleton, H.; D. Westwood; J. Robson og D. Kok (2004): *Assessment and decision criteria for driving competence in the elderly*, Proceedings of 3rd International Conference on Traffic and Transport Psychology, University of Nottingham, Storbritannien.

Mok, Shannon og Ian Savage (2005): Why has Safety Improved at Rail-Highway Grade Crossings?, *Risk Analysis*, vol. 25, pp. 867-881.

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

Oxley, Jennifer; Bruce Corben; Brian Fildes; Mary O'Hare og Talib Rothengatter (2004): *Older Vulnerable Road Users – Measures to Reduce Crash and Injury Risk*, Report no. 218, Accident Research Centre, Monash University, Australien.

Oxley, Jennifer A.; Elfriede Ihsen; Brian N. Fildes; Judith L. Charlton og Ross H. Day (2005a): Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 37, pp. 962-971.

Oxley, Jennifer; Judith Charlton og Brian Fildes (2005b): *The effect of cognitive impairment on older pedestrian behaviour and crash risk*, Report no. 244, Accident Research Centre, Monash University, Australien.

Plumert, Jodie M.; Joseph K. Kearney og James F. Cremer (2004): Children's Perception of Gap Affordances: Bicycling Across Traffic-Filled Intersections in an Immersive Virtual Environment, *Child Development*, vol. 75, pp. 1243-1253.

Ragland, David R.; Sofia Arroyo; Steven E. Shladover; James A. Misener og Ching-Yao Chan (2005): *Gap acceptance for vehicles turning left across on-coming traffic: Implications for intersection decision support*, Traffic Safety Center, University of California at Berkeley, Californien, USA.

Raub, Richard A. og Roy E. Lucke (2003): *Evaluation of the Automated Wayside Horn System in Mundelein, Illinois*, Northwestern University Center for Public Safety, USA.

Sacomanno, Frank; Peter Y. J. Park og Liping Fu (2006): Analysis of Countermeasure Effects for Highway-Railway Grade Crossings, *Proceedings of 9th International Level Crossing Safety and Trespass Prevention Symposium*, Montreal, Canada.

Schiff, W.; R. Oldak og V. Shah (1992): Aging persons' estimates of vehicular motion, *Psychology and Aging*, vol. 7, pp. 518-525.

Scialfa, Charles T.; Lawrence T. Guzy; Herschel W. Leibowitz; Philip M. Garvey og Richard A. Tyrrell (1991): Age Differences in Estimating Vehicle Velocity, *Psychology and Aging*, vol. 6, pp. 60-66.

Stephens, Burton W. og Gary Long (2003): Supplemental Pavement Markings for Improving Safety at Railroad-Highway Grade Crossings, *Transportation Research Record 1844*, TRB, National Research Council, Washington D.C., USA.

Tustin, B. H.; H. Richards; H. McGee og R. Patterson (1986): *Railroad-Highway Grade Crossing Handbook*, 2nd edition, FHWA-TS-86-215, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Virginia, USA.

van Wolffelaar, P. C.; J. A. Rothengatter og W. H. Brouwer (1987): Compensation strategies of elderly car drivers, i E. D. Megaw (red.): *Contemporary Ergonomics*, Taylor & Francis, London, Storbritannien.

Vaughan, R. og J. Bain (2001): Speeds and accelerations of school children, *Road & Transport Research*, vol. 10, pp. 28-48.

Vejdirektoratet (1993): *Regler for sikring af jernbaneoverkørsler åbne for almindelige færdsel*.

Ward, Nicholas John og Gerald J. S. Wilde (1995): Field observation of advance warning/advisory signage for passive railway crossings with restricted lateral sightline visibility: An experimental investigation, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 27, pp. 185-197.

Washington, Simon og Jutack Oh (2006): Bayesian methodology incorporating expert judgment for ranking countermeasure effectiveness under uncertainty: Example applied to at grade railroad crossings in Korea, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 38, pp. 234-247.

Zwahlen, Helmut T. og Thomas Schnell (1999): Evaluation of Two New Cross-buck Designs for Passive Highway-Railroad Grade Crossings, *Transportation Research Record 1692*, TRB, National Research Council, Washington D.C., USA.