

Beräkning av stoppsträcka för skyddsfordon

Bakgrund/Syfte

Med anledning av det arbete som pågår för att ta fram en vägledning för att öka säkerheten vid arbete på olycksplats i trafikmiljön så framkom det ett behov av att veta hur ett fordon uppställt som barriär förflyttar sig vid en eventuell påkörning. Detta för senare kunna ta fram riktlinjer för uppställning av skyddsfordon i trafiken samt att skapa medvetenhet för riskerna kring att vistas framför ett skyddsfordon.

Metod

För beräkningen av förflyttningen har 2 olika metoder använts, beräkningar i Excel och simuleringar i programvaran PC-Crash. Båda dessa metoder bygger på samma grundläggande fysikaliska principer men med fördelen att man kan ta hänsyn till många fler variabler i PC-Crash utan att arbetsinsatsen blir orimlig. Följande ekvationer användes för att beräkna stoppsträckan i Excel.

$$M_1 * V_1 = (M_1 + M_2) * V_E$$

Där M_1 är påkörande fordonets vikt, M_2 är skyddsfordonets vikt, V_1 är det påkörande fordonets hastighet och V_E är fordonens hastighet efter kollisionen

$$D_s = \frac{V_E * V_E}{2 * F_f}$$

Där D_s är skyddsfordonets stoppsträcka och F_f är skyddsfordonets friktionskraft

$$F_f = (M_2 * g * \mu) \frac{M_{2b}}{M_2}$$

Där μ är friktionskoefficienten och M_{2b} är vikten på de bromsade hjulen.

För att göra beräkningarna användes följande förutsättningar/antaganden:

- Två olika friktionsvärden användes vid beräkningarna, 0,8 och 0,4 för att motsvara torrt väglag och blött/halt väglag.
- I beräkningarna har det antagits att det påkörande fordonet bromsar efter kollisionen
- I beräkningarna har tekniska data för skyddsfordonet baserats på uppgifter från två släck-/räddningsbilar (BAS-bil) vid Räddningstjänsten Karlstadsregionen. Tekniska data så som

Jan Martinsson, US-KUV

Datum
2017-02-24Diarienumr
2016-5317

längd och axelavstånd för skyddsfordonet baseras på uppgifter från fordonsregistret och den faktiska vikten och viktfordelningen mellan fram- och bakaxeln är uppmätta värden.

- Vikt skyddsfordon 15790 kg, varav 6890 kg på fram axel och 8900 kg på bakaxel
- Påkörande fordon utgjordes av en personbil (3,5 ton), en mellantung lastbil (15 ton) och en tung lastbil med (släp 64 ton)
- Den påkörande hastigheten 50 km/h, 80 km/h och 110 km/h där 110 km/h endast användes för påkörande personbil
- Påkörningen sker mitt bakpå på skyddsfordonet vid uppställning i färdriktningen.
- Styrvinkel 0°

Nyare räddningsfordon kan ha parkeringsbroms som verkar på alla hjul men beräkningarna utgår från att parkeringsbromsen på skyddsfordonet bara verkar på bakhjulen. I Excel-beräkningarna har hänsyn till detta tagits genom att den del av fordonets vikt som belastade de obromsade hjulen inte bidrog till friktionskraften som stannar fordonet. Detta förutsätter att hjulen är riktade i färdriktningen, för mer avancerade scenarion så krävs en mer detaljerad modell. Därför gjordes beräkningarna i Excel bara för skyddsfordon uppställda i färdriktningen och utan någon styrvinkel. Beräkningarna i Excel är tvådimensionella och kan därför heller inte ta hänsyn till vältrisk för fordonet.

I PC-Crash är beräkningarna tredimensionella och därför kan också vältrisken inkluderas i simuleringarna. En faktor som kraftigt påverkar vältrisken är tyngdpunktens placering i höjdlid. Vid beräkningarnas genomförande fanns inget faktiskt värde att använda och därför användes ett uppskattat värde på 1,1 m över marken.

Ytterligare antaganden för simulering i PC-Crash:

- Broms bara på bakhjul på skyddsfordonet men till skillnad från de enklare beräkningarna ger hjulen ändå en bromsande effekt beroende på dess vinkel i förhållande till fordonets förflyttning
- Vertikal tyngdpunkt 1,1 m
- Dimensioner längd 9,95 m, bredd 2,48 m axelavstånd 4,9 m
- Skyddsfordonet riktning varierades mellan 0°, 30°, 45° och 90° i förhållande till vägens riktning
- Vid vinklad, 30° och 45°, uppställning träffas skyddsfordonet på bakersta hörnet. För de fall där skyddsfordonet är vinklat 90° är träffpunkten vid bakaxeln.
- Styrvinkel 0° och 20°

Resultat

Resultatet visar förflyttningen av skyddsfordonets tyngdpunkt i vägens riktning. Fordonets rotation och sidledsförflyttning beräknades och dokumenterades också men redovisas inte här.

Påkörande: personbil 3,5 ton

Scenario (km/h)	0 grader (Excel)	0 grader	30 grader
hög friktion 50	0,7	0,7	0,6
hög friktion 80	1,9	1,9	1,7
hög friktion 110	3,5	3,6	2,8
låg friktion 50	1,4	1,4	1,3
låg friktion 80	3,7	3,7	3,0
låg friktion 110	7,0	7,1	5,3

Tabell 1: Stoppträcka i meter för skyddsfordonet vid påkörning av 3,5 tons personbil.

Påkörande: medeltung lastbil 15 ton

Scenario (km/h)	0 grader (Excel)	0 grader	30 grader	45 grader	90 grader	0 grader	30 grader
						styrvinkel 20	styrvinkel 20
hög friktion 50	5,2	4,8	3,1			4,6	2,9
hög friktion 80	13,3	12,9	8,3*	9,1*	6,5**	12	8*
låg friktion 50	10,4	9,4	5,4			8,7	4,8
låg friktion 80	26,7	24,3	15	19,8*	13,3**	19,4	15,2*

Tabell 2: Stoppträcka i meter för skyddsfordonet vid påkörning av 15 tons lastbil. (* Skyddsfordonet välte i simuleringen.

** Det påkörande fordonet passerade skyddsfordonet.)

Påkörande: tung lastbil 64 ton

Scenario (km/h)	0 grader (Excel)	0 grader	30 grader	45 grader
hög friktion 50	14,1	17,4	9,9*	9,5**
hög friktion 80	36,2		21,2*	6,3***
låg friktion 50	28,3	27,3	22,5*	15,5***
låg friktion 80	72,4	59,4	57,4	13,6***

Tabell 3: Stoppträcka i meter för skyddsfordonet vid påkörning av 64 tons lastbilskombination. (* Skyddsfordonet välte i simuleringen. ** Det påkörande fordonet passerade skyddsfordonet. *** Skyddsfordonet välte och passerades av det påkörande fordonet)

Diskussion

I beräkningarna har en del förenklingar och antaganden gjorts för att göra beräkningarna möjliga.

Bromsat påkörande fordon

I alla beräkningarna har det antagits att det påkörande fordonet bromsas efter kollisionen, detta antagande gjordes för att det bedömdes som det troligaste scenariot och det förenklar beräkningarna. Denna förenkling har liten påverkan resultatet för personbilar men ökar ju högre vikt det påkörande fordonet har.

Jan Martinsson, US-KUV

Datum
2017-02-24

Diarienum
2016-5317

Friktion

De valda friktionsvärdena är tänkta att representera torrt respektive mycket blött väglag. Vid sämre väglag blir stoppsträckan längre. Hur mycket längre är direkt beroende av hur halt det är vilket kan vara mycket svårt att bedöma utan någon form av mätutrustning.

Rotation och sidledsförflyttning

Utöver förflyttningen i vägens längdriktning så kommer skyddsfordonet även att rotera och förflyttas i sidled vid en kollision. Detta beror i huvudsak på tre olika faktorer, uppställningsvinkel, styrvinkel och träffpunkt. Vid en stor rotation finns risk att det påkörande fordonet passerar skyddsfordonet och fortsätter in på olyckplatsen. En sidledsförflyttning av skyddsfordonet kan vara positivt om den är i en riktning där ingen riskerar att skadas medan det kan vara förödande om det t.ex. är ut i mötande körfält.

För att minimera rotationen och samtidigt kunna påverka vilken riktning det är troligast att skyddsfordonet förflyttas så bör man ställa fordonet i vägens riktning och styra bilen åt det håll man vill att den ska förflyttas åt. Detta ger såklart ingen garanti för hur fordonet förflyttas eftersom man inte kan påverka vilket fordon som kör på och var träffpunkten hamnar.

Vältrisk

I flera av simuleringarna välte skyddsfordonet när det kördes på av en medeltung eller tung lastbil, denna risk påverkades tydligt av uppställningsvinkeln, större vinkel mellan färdriktningen och fordonet gav en ökad vältrisk. En annan faktor som påverkar vältrisken är höjden på tyngdpunkten som kanske inte helt överensstämmer mellan verkligheten och simuleringarna men resultatet ger ändå en tydlig indikation på att vältrisken ökar vid en större uppställningsvinkel.

Väglutning

Ingen hänsyn har tagits till hur vägen lutar i simuleringarna, detta kan såklart påverka resultatet genom att förlänga eller förkorta stoppsträckan i nerförs- respektive uppförsbacke. Vägens bankning (lutning i sidled) påverkar också hur fordonen förflyttas även om det oftast är en liten faktor i sammanhanget.

Träffpunkt

En stor faktor till hur fordonen rör sig efter en kollision är var på skyddsfordonet det påkörande fordonet träffar. Ju längre ifrån skyddsfordonets tyngdpunkt (i färdriktningen för det påkörande fordonet) man träffar desto mer av energi omvandlas till rotation. I simuleringarna har denna inte varierats för att se hur den påverkar resultatet utan placerats på en punkt för respektive testuppställning.

Jan Martinsson, US-KUV

Datum
2017-02-24Diarienum
2016-5317

Slutsats

Resultatet av simuleringarna indikerar på att en vinklad uppställning av skyddsfordonet innebär en ökad vältrisk. När skyddsfordonet välter så är det mycket troligt att stoppsträckan förkortas då rotationen av fordonet förbrukar rörelseenergi. En simulering av ett fordon som välter påverkas också av många fler variabler vilket innebär att det verkliga utfallet är mycket mer osäkert. I flera av simuleringarna med högt krockvåld och vinklade uppställningarna roterade skyddsfordonet så mycket att det påkörande fordonet helt eller delvis passerade det och fortsatte in i området man vill skydda.

En rak uppställning ger generellt sett en längre stoppsträcka men i gengäld förkom här inga vältningar av skyddsfordonet och därmed blir händelseförloppet mer förutsägbart. På grund av begränsade resurser så testades kombinationen av rak uppställning och styrvinkel bara för de medeltunga lastbilarna men detta gav ett lovande resultat då det gav en kortare stoppsträcka än utan styrvinkel samtidigt som inga indikationer på vältrisk upptäcktes. Kombinationen av en rak uppställning och styrvinkel gör också det möjligt att påverka åt vilket håll fordonet flyttas efter kollisionen vilket kan vara fördelaktigt.

Eftersom alla olycksplatser ser olika ut kan man inte ge en generell säkerhetszon framför skyddsfordonet för alla olyckor och ska man vara helt säker för de tyngsta fordonen i hög fart kombinerat med dåligt väglag så blir zonen så lång att det kanske inte blir praktiskt möjligt. Även om zonen inte alltid kan vara tillräcklig lång för att stoppa ett påkörande fordon så ger en lång zon personalen på plats tid att reagera och en möjlighet att flytta på sig. Förslagsvis skulle en riskzon på 15 m på vägar med 50 km/h eller lägre innebära att alla de simulerade scenarierna utom det med den tyngsta lastbilen (64 ton) i halt väglag skulle stanna inom riskzonen. Motsvarande riskzon i 80 km/h skulle bli ca 40 m och vid ytterligare högre hastighetsbegränsning så skulle detta fortfarande gälla då endast lättare fordon får köra vidare.