

Bilaga riskberäkningar för transport av farligt gods på väg

Innehåll

1. Inledning	2
1.1 Beräkningsmetod	2
1.1.1 Inledning	2
1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar	5
2. Aktuella scenarierna	9
2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.1	9
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1	18
2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3.....	23
2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1	26
2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1.....	28
3. Beräkningsresultat	31
4. Referenser	33

1. Inledning

1.1 Beräkningsmetod

1.1.1 Inledning

Riskberäkningsmetoden kan delas upp i fyra steg.

1. Beräkning av sannolikhet för olyckor med olika ämnen
2. Beräkning av sannolikhet av olika scenarier utifrån händelsetråd
3. Beräkning av konsekvenserna av dessa scenarier avseende antalet omkomna utomhus och inomhus
4. Sammanräkning av resultaten som individrisk och samhällsrisk

Alla beräkningar genomförs i excelblad. Dessa excelblad finns för insyn för myndigheterna och endast vissa utdrag publiceras här.

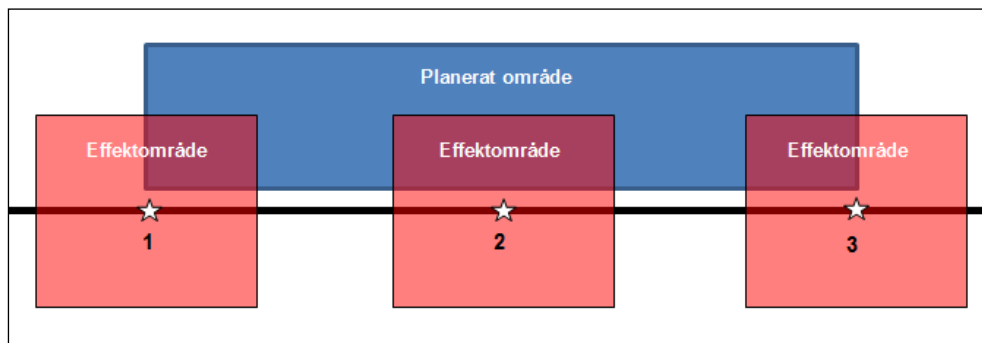
Sannolikheter och effektområdets storlek har, för klass 2.1, klass 2.2 och klass 3 tagits från den nederländska beräkningsmetoden RBMII som är en av den nederländska staten godkänd metod för riskberäkning vid transport av farligt gods utifrån de modeller som presenteras i den s.k. Gula Boken (PGS2 2005) och Lila Boken (PGS3 2005). För klass 1.1 och klass 5.1 anges mera i detalj hur sannolikheterna och effektområdets storlek har beräknats.

1.1.2 Sannolikhetsberäkning

Sannolikheten för en olycka med transport av farligt gods beräknas utifrån de av Trafikverket angivna sannolikheter för personskadeolyckor per fordonskilometer på en vägsträcka av den aktuella typen (Vägverket 2008). Olycksrisken för enstaka fordon har beräknats ur risken per fordonskilometer för olyckor på vägsträckan med antagandet en viss andel av olyckorna är singelolyckor och resten olyckor har två fordon inblandade. Uppgifterna om hur stor andel av olyckorna är singelolyckor fås från rapporten Farligt gods – Riskbedömning vid transport (SRV 1996).

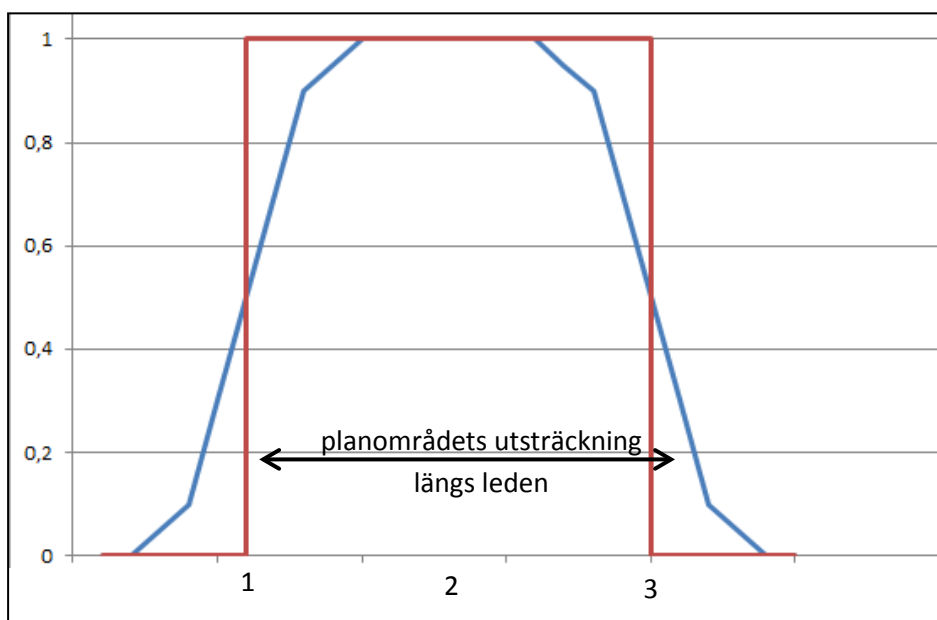
Antal transporter med de olika klasser farligt gods ger sedan antalet olyckor med transporter av de olika klasser farligt gods per kilometer. Beräkningsresultaten för dessa olyckor finns i *figur 4*. Att sannolikheten beräknas per kilometer beror på att vägsträckan som skall användas i sannolikhetsberäkningar varierar beroende på vilket scenario som är aktuellt

För samhällsriskén förklarás detta i *figur 1 till 3* nedan.



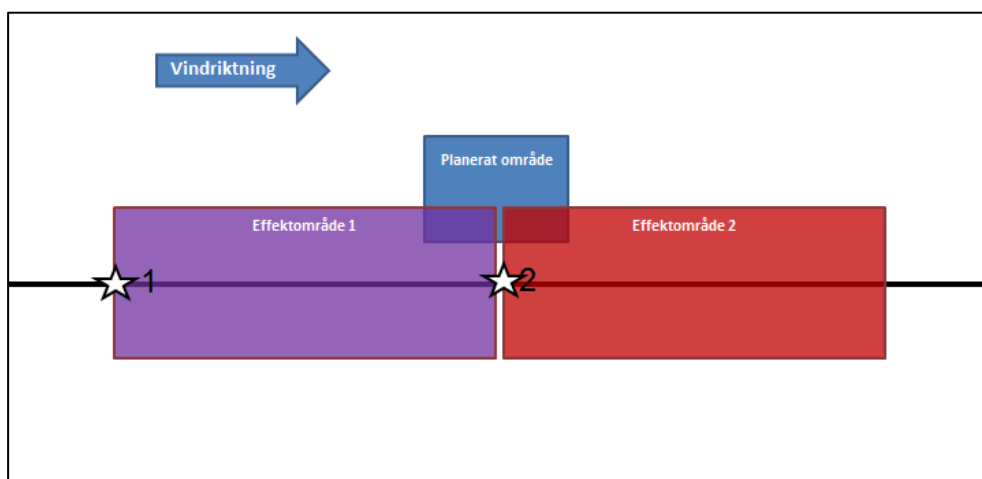
Figur 1. Tre olika lägen för en olycka med farligt gods med effektområde mindre än det planerade området.

Tre lägen för olyckor visas. I läge 1 drabbas området av halva effekten, i läge 2 av hela effekten och läge 3 åter av halva effekten. Till vänster om läge 1 och till höger om läge 3 drabbas området av mindre än halva effekten. Detta förenklas till att området drabbas av hela effekten (som i olycksplats 2) för alla olyckslägen mellan 1 och 3. Olyckor utanför denna sträcka tas däremot inte med i beräkningen. Approximationen förtydligas i *figur 2* nedan.



Figur 2. Förenkling av effekten av olyckor med farligt gods.

Om effektområdets längd utmed leden är större än planområdets längd utmed leden så är det effektområdets längd som är utgångspunkten. Detta visas i figur 3 som visar effektområdet för exempelvis ett gasmoln som blåses av vinden längs med vägen. Om olyckan sker mellan läge 1 och läge 2 så antas området drabbas av effekten. Avståndet är lika med effektområdets utsträckning längs leden.



Figur 3. Två olika lägen (lila resp röda effektområdet) för en olycka med farligt gods (gas i detta fall) med effektområde större än det planerade området.

Vid individriskberäkningar bestäms sannolikheten för olyckor alltid av effektområdenas utsträckning längs leden.

Sannolikheten att en olycka leder till ett utsläpp av betydelse (>100 kg) för klass 2.1, 2.3, 3 och 5.1 har tagits från RBMII.

Händelseträden för klass 1.1 och klass 5.1 förklaras i nästa kapitel vid aktuella scenarier

Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 har tagits från RBMII.

1.1.3 Konsekvenser

Konsekvenserna beräknas med hjälp av effektområden för scenarier för ämnen i klass 2.2, 2.3 och 3. För ämnen i klass 1.1 och 5.1 används en något annorlunda metod som förklaras vid dessa scenarier.

Effektområden har tagits från den nederländska metoden RBMII som är föreskriven metod i Nederländerna vid denna sorts beräkningar. Effektområden har förenklats till att vara rektangulära. Storleken på dessa effektområden är generellt något större än på de effektområden som används i RBMII vilket leder till mera konservativa beräkningar.

I vissa fall finns det skäl att använda två effektområden i ett scenario. Detta är fallet när effekten av olyckan endast avklingar långsamt som exempelvis för olyckor med giftiga gaser i klass 2.3. För många scenarier avklingar effekten ganska snabbt från att alla omkommer till att nästan inga omkommer. I dessa fall används endast ett effektområde vars storlek har utökats för att även täcka de delar där endast en del av de närvarande omkommer.

Vindens påverkan tas med för de effekter som beror på vindriktningen. Alla vindriktningar mot området samlas till en vindriktning lodrätt från leden mot området. Vindriktningar längs leden beaktas också då vissa scenarier ger plymer längs leden som påverkar närmast leden.

Antalet omkomna i ett scenario beräknas utifrån ytan på området där scenariot påverkar, antal personer som befinner sig ute och inne inom detta område samt andelen av dessa som omkommer.

1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar

Resultaten av beräkningen av olycksrisk per kilometer för de olika klasser farligt gods framgår av *figur 4a och 4b*. Där framgår också beräkningarna av persontäthet inom området. För att beräkna persontäthet har utgångspunkten varit 20 personer per 1000 m² BTA för verksamheter och 30 personer per 1000 m² BTA för handel. Detta ger ca 330 personer inom området. Persontätheten varierar under dagen och mellan dagarna samt i semestertider. Uppskattningsvis 155 personer bedöms vara närvarande i snitt inom området under dagtid (kl 06-18).

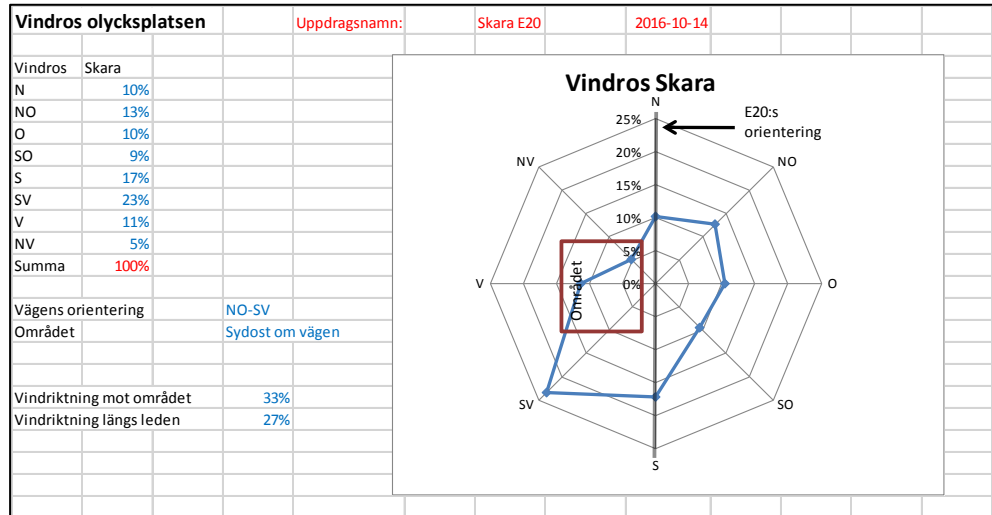
Ingångsdata E20 Skara		Uppdragsnamn	Skara E20	2016-10-14
Olycksrisk				
Risk för olycka	8,4E-08	1/fordonskm, år		
Andel singelolyckor	0,35			
Olycksrisk fordon	1,4E-07	1/km, år		
Område enl nedan	2	ange siffervärde		
Sannolikhet utströmning > 100 kg				
Område		Kondenserade gaser	Vätskor	
Motorväg	1	0,052	0,101	
Utanför tätort	2	0,034	0,077	
Inom tätort	3	0,006	0,021	
Sannolikhet utströmning olika klasser				
	antal transporter	risk olycka/km	risk>100 kg	olycksrisk/km,år
Klass 1, massexplosiv	14	1,9E-06	1	1,9E-06
Klass 2.1	769	1,1E-04	0,034	3,6E-06
Klass 2.3	10	1,4E-06	0,034	4,7E-08
Klass 3, bensin	22 814	3,2E-03	0,077	2,4E-04
Klass 5.1, explosionsrisk	38	5,3E-06	0,077	4,1E-07
Områdesinfo				
	Inne	Ute		
Befolkningstäthet	5,8E-03	2,8E-04		
Områdets storlek				
	Inne	Ute		
Planområdets avstånd leden	36	36 m		
Planområdets bredd	80	80 m		
Planområdets längd	310	488 m		
Antal personer total				
Andel närvarande dagtid				
Antal personer dagtid	155			
	Inne	Ute		
Andel i %	93%	7%		
Antal personer	144,2	10,9		
Antal personer första raden totalt				
Andel närvarande dagtid				
Antal personer dagtid	155			
	Inne	Ute		
Andel i %	93%	7%		
Antal personer	144,2	10,9		

Figur 4a. Ingångsvärden för riskberäkningarna nuläge

Ingångsdata E20 Skara		Uppdragsnamn	Skara E20	2016-10-14
Olycksrisk				
Risk för olycka	7,0E-08	1/fordonskm, år		
Andel singelolyckor	0,55			
Olycksrisk fordon	1,0E-07	1/km, år		
Område enl nedan	4	ange siffervärde		
Sannolikhet utströmning > 100 kg				
Område		Kondenserade gaser	Vätskor	
Motorväg	1	0,052	0,101	
Utanför tätort	2	0,034	0,077	
Inom tätort	3	0,006	0,021	
100 km/h	4	0,043	0,089	
Sannolikhet utströmning olika klasser				
	antal transporter	risk olycka/km	risk>100 kg	olycksrisk/km,år
Klass 1, massexplosiv	14	1,4E-06	1	1,4E-06
Klass 2.1	769	7,8E-05	0,043	3,4E-06
Klass 2.3	10	1,0E-06	0,043	4,4E-08
Klass 3, bensin	22 814	2,3E-03	0,089	2,1E-04
Klass 5.1, explosionsrisk	38	3,9E-06	0,089	3,4E-07
Områdesinfo				
	Inne	Ute		
Befolkningstäthet	5,8E-03	2,8E-04		
Områdets storlek				
	Inne	Ute		
Planområdets avstånd leden	33,8	33,8 m		
Planområdets bredd	80	80 m		
Planområdets längd	310	488 m		
Antal personer total				
Andel närv dagtid				
Antal personer dagtid	155			
	Inne	Ute		
Andel i %	93%	7%		
Antal personer	144,2	10,9		
Antal personer första raden totalt				
Andel närv dagtid				
Antal personer dagtid	155			
	Inne	Ute		
Andel i %	93%	7%		
Antal personer	144,2	10,9		

Figur 4b. Ingångsvärden för riskberäkningarna efter ombyggnad av vägen

I figur 5 visas vindrosen som används vid beräkningar av vissa scenarier med gasutsläpp. Beräkningen av andelen av tiden som vinden kan föra gasen mot området respektive längs vägen framgår.



Figur 5. Vindros för Skara

2. Aktuella scenarierna

Här ges en generell beskrivning av scenarierna som kan leda till betydande konsekvenser för området utifrån de klasser farligt gods som kan komma att transporteras, *se rapporten*.

2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.1

2.1.1 Sannolikheter

Sannolikheten för en olycka med massexplösiva sprängämnen framgår av *figur 4*

Vid en olycka finns olika utfall som här förenklas till följande:

- ingen brand eller explosion,
- explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan,
- brand i fordonet som inte leder till explosion,
- brand i fordon som leder till explosion.

Sannolikhet för explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan

Sprängämnen som transporteras antas vara av emulsionstyp som är den typen som huvudsakligen används inom gruvindustrin. Ett antal studier har rapporterats (ERM 2008, FOA 2000) som visar att den hastighet som krävs för att en stöt skall leda till explosion av sprängämnet är jämförbara med typiska hastigheter för kulor från skjutvapen (500 m/s dvs. 1800 km/t). Vid förhöjda temperaturer sänks visserligen denna hastighet men ligger fortfarande vida över vad som förekommer vid en olycka.

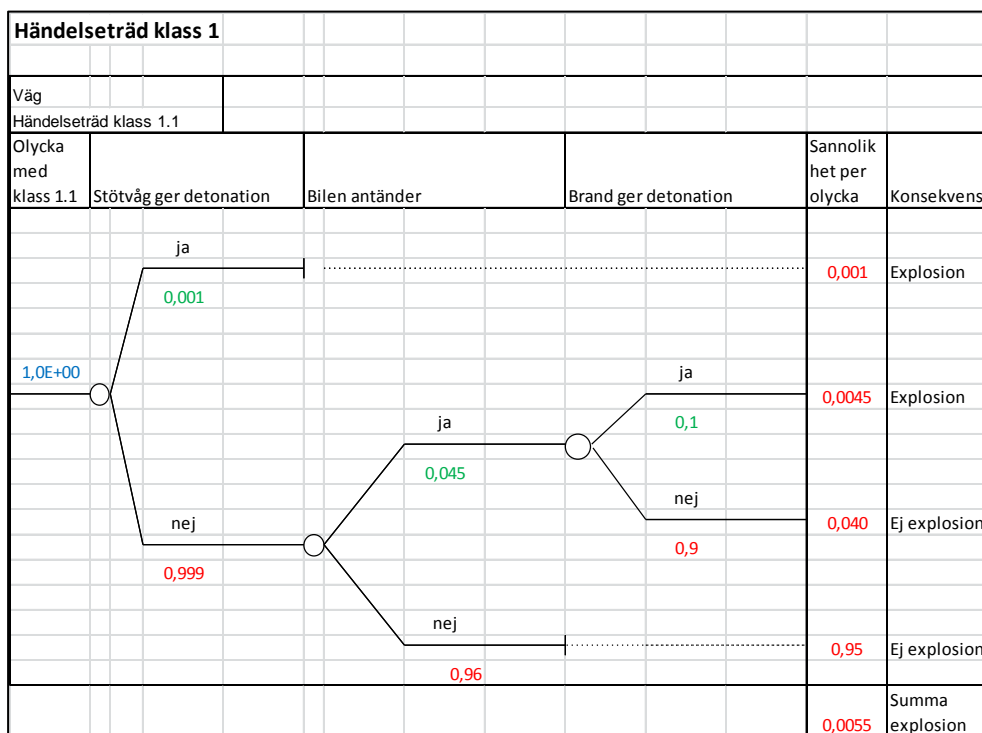
Tidigare studier har visat att den kritiska hastigheten för att en projektil skall leda till en explosion för ett emulsionssprängämne är några tiotals gånger större än för dynamit. En studie med fallvikter på nitroglycerinbaserade sprängämnen har visat att sannolikheten för antändning låg under 0,1 %. I studien simulerades den stöten som skulle orsakas av ett fall på 12 m.

Sammantaget bedöms det att sannolikheten för detonation på grund av stöt vid en olycka med emulsionssprängämnen ligger under 0,1 %. Detta värde kommer att användas vid sannolikhetsberäkningarna.

Sannolikhet för detonation på grund av brand

Sannolikheten för att en olycka leder till en fordonsbrand beräknas utifrån statistik från USA då pålitlig svensk statistik saknas. Enligt statistiken (NFPA 2012, FEMA 2008, USCB 2012) förekom det under perioden 2005-2009 ca 52,7 miljoner trafikolyckor på motorvägar i USA. Av dessa var lastbilar inblandade i ca 3,1 % eller 1,6 miljoner olyckor. Av trafikolyckorna på motorväg under perioden 2005-2009 ledde ca 1,13 miljoner till brand i fordon. Av dessa olyckor med brand i fordon berörde ca 6,4 % eller 72 600 lastbilar. Andelen trafikolyckor med lastbilar som ledde till brand är således $72\,600/1\,600\,000 = 4,5\%$ under 2005-2009 i USA. Denna siffra används som sannolikhet för att lastbil fattar eld vid en olycka.

Sannolikheten att en brand leder till detonation av sprängämnet uppskattas grovt till 10 %. Händelseträdet för olycka med sprängämnen visas i figur 6.



Figur 6. Händelseträd för olycka med sprängämnen, klass 1.1.

Resultaten av sannolikhetsberäkningar för fallet att en massexplosion på grund av en olycka med en sprängämnestransport visas i tabell 2, avsnitt 3.

2.1.2 Konsekvenser

Explosionslast

Vid beräkning av explosionslast utgås från en explosion av 16 ton TNT. Mängden sätts till 16 ton då detta är den maximalt tillåtna mängden som får transporteras i en vägtransport. Att välja TNT görs för att inte underskatta explosionsstyrka, ämnet som transporteras mest är ANFO vars explosionsstyrka ligger på ca 82 % av TNT. För att inte underskatta riskerna väljs dock TNT.

Explosionens övertryck och impuls har beräknats nedan. Både oreflekterade och reflekterade värden har beräknats. De reflekterade värdena är aktuella när explosionen träffar en yta som är riktat vinkelrät mot explosionen. De oreflekterade värdena gäller för ytor som är riktade i samma riktning som explosionen.

Explosionsstyrkan beräknas med hjälp av *figur 7 och 8* som tagits från rapporten Dynamisk lastpåverkan – Referensbok (SRV 2005). För en närmare förklaring av beräkningsmetoden hänvisas till denna rapport.

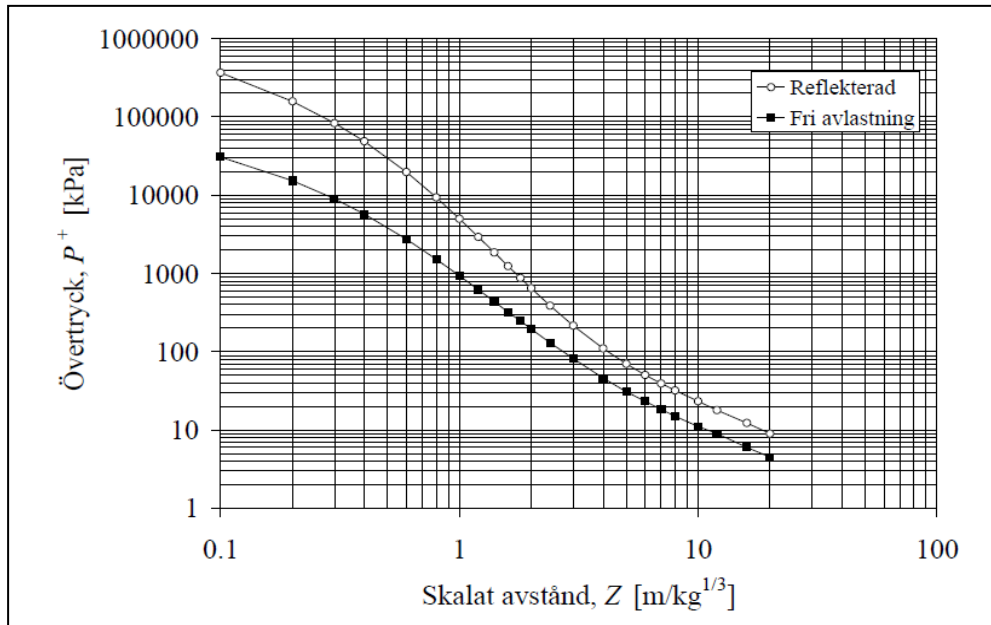
Z är det ska skalade avståndet enligt nedan

$$Z = \frac{R}{M^{1/3}}$$

R = avstånd från explosionscentrum (m)

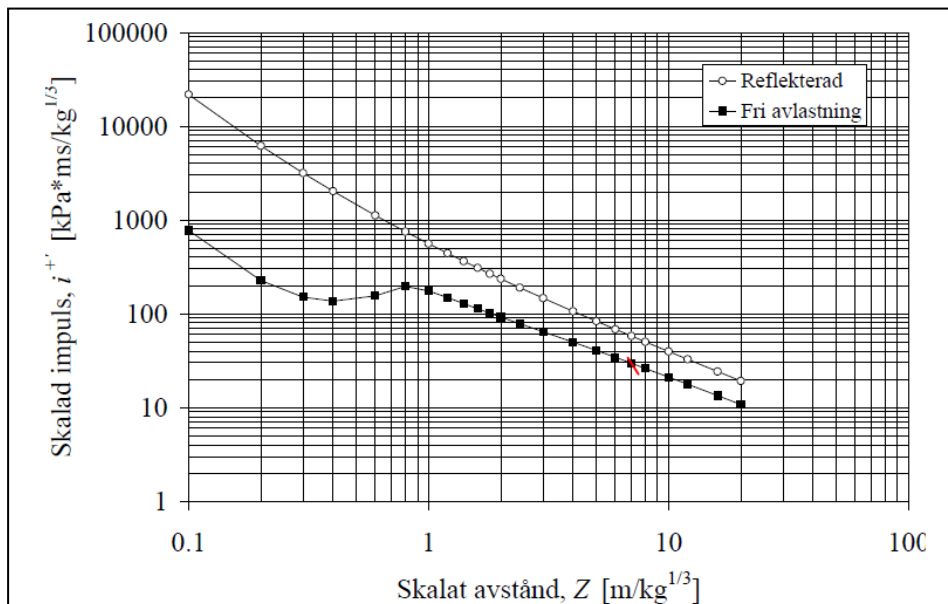
M = mängd sprängämne i explosionen (kg)

Figur 7 ger övertrycket p_+



Figur 7. Reflekerat och oreflekerat övertryck som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

Figur 8 ger den skalade impulsen delat med kubikroten ur mängden sprängämne: $i_+/M^{1/3}$. Den skalade impulsintensiteten räknas sedan ut genom att multiplicera med $M^{1/3} = 16000^{1/3} = 25,2 \text{ kg}^{1/3}$.



Figur 8. Reflekerat och oreflekerat impulsintensitet som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

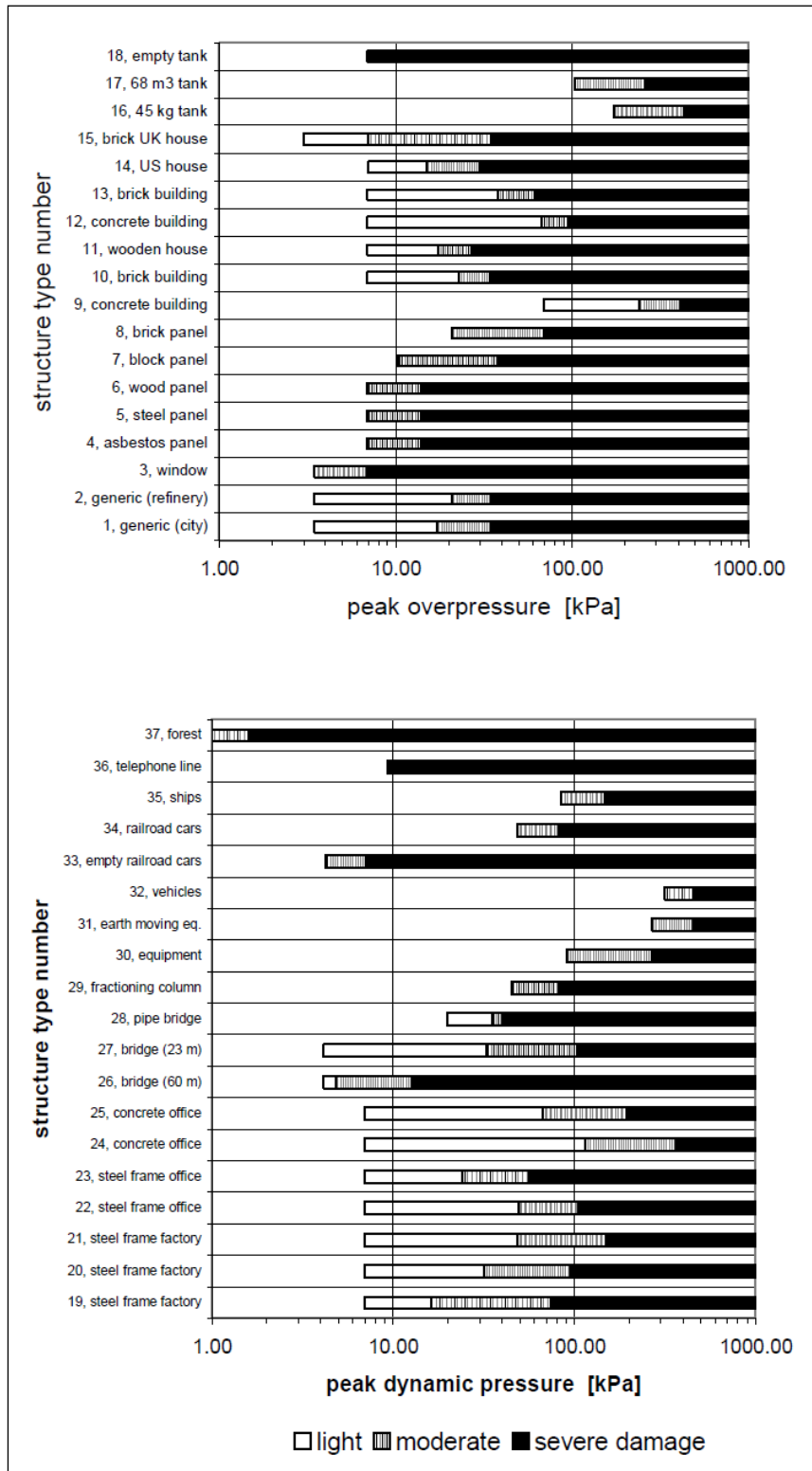
Resultaten visas i *tabell 1*.

Tabell 1. Reflekerat och oreflekerat tryck och impultstäthet som funktion av avståndet till explosionscentrum.

<i>Avstånd</i>	<i>Z</i>	<i>p</i> ⁺	<i>p</i> _r	<i>i</i> ⁺	<i>i</i> _r
m	m/kg ^{1/3}	kPa	kPa	kPas	kPas
25	1,0	900	5000	4,8	14,0
50	2,0	200	750	2,3	6,3
63	2,5	120	400	1,8	4,3
75	3,0	80	220	1,6	3,3
100	4,0	45	110	1,3	2,6
125	5,0	33	70	1,0	2,0
150	6,0	23	50	0,9	1,8
175	6,9	20	40	0,8	1,5
200	7,9	15	33	0,7	1,3

Skador på bebyggelsen

Enligt amerikanska undersökningar (EAI 1997) rasar hus vid ett övertryck (p^+) på 25-35 kPa medan en vanlig stadsbebyggelse bedöms få allvarliga skador vid ungefär samma övertryck, se *figur 9 och 10*. Detta tryck uppnås enligt *tabell 1* ungefär 125 m från platsen för explosionen.



Figur 9 Övertryck som leder till raserade byggnader mm.

Type	Description of structure
1	city
2	refinery
3	glass windows, large and small
4	corrugated asbestos siding
5	corrugated steel or aluminum panelling
6	wood siding panels, standard house construction
7	concrete or cinder-block wall panels, 8" or 12" thick (not reinforced)
8	brick wall panel, 8" or 12" thick (not reinforced)
9	blast-resistant reinforced concrete windowless building
10	multi-storey wall-bearing building, brick apartment house type, up to three storeys
11	wood-frame house
12	multi-storey reinforced concrete building with concrete walls, small window area, three to eight storeys
13	multi-storey wall-bearing building, monumental type, up to four storeys
14	typical American-style house
15	typical brick-built English house
16	45 kg LPG tank
17	68000-litre LPG bulk gas plant
18	floating- or conical roof tanks, empty
19	light steel frame industrial building, single storey, with up to 5-ton crane capacity, low strength walls which fail quickly
20	heavy steel frame industrial building, single storey, with 25- to 50-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
21	heavy steel frame industrial building, single storey, with 60- to 100-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
22	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant design
23	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant design
24	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant construction.
25	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant construction.
26	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 200 ft (60 m)
27	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 75 ft (23 m)
28	pipe bridge
29	fractioning column
30	truck-mounted engineering equipment (unprotected)
31	earth-moving engineering equipment (unprotected)
32	transportation vehicles
33	unloaded railroad cars
34	loaded boxcars, flatcars, full tank cars, and gondola cars (side-on orientation)
35	merchant shipping
36	telephone lines (transverse)
37	average deciduous forest stand

Figur 10. Beskrivning av byggnadstyper mm i figur 9.

Sammantaget antas att byggnader närmast vägen får allvarliga skador inom 125 m från explosionen. Bebyggelsen bakom skyddas i stor utsträckning av husen framför och antas inte få lika betydande skador.

Storleken av området längs vägen där husen rasar beräknas utifrån husens avstånd till vägen och Pythagoras sats.

Inom området där husen skadas allvarligt antas att husens raszon sträcker sig in mot ungefär halva huset och att det i raszonen omkommer cirka en tredjedel av de personer som vistas där (FOA 1997). Detta innebär att cirka en sjättedel av de boende inom detta område antas omkomma vid en explosion med sprängämnen.

Antalet omkomna beräknas utifrån antal i husraden närmast vägen, resultaten visas i *tabell 2*.

Skador utomhus

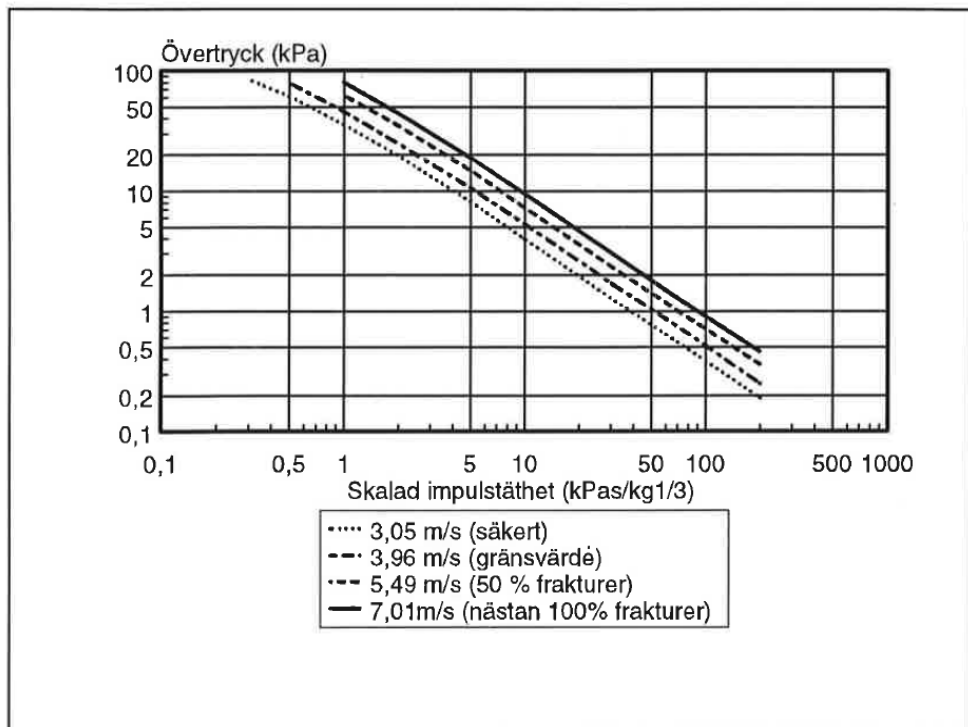
Direkta skador pga. tryck

Människan tål tryck relativt bra. Gränsen för lungskador anges vara ca 70 kPa, döda på grund av lungskador förväntas vid 180 kPa och 50 % omkomna vid 260 kPa. Detta innebär att inga omkomna förväntas pga. lungskador på ett avstånd på mer än 50 m från explosionen (FOA 1997).

Indirekta skador

Indirekta skador kan uppstå genom att någon kastas mot något hårt föremål av tryckvågen eller att personer träffas av nedfallande byggnadsdelar.

Som skademått för skador pga. att någon kastas av tryckvågen tas skallskador. Enligt FOA får en person med kroppsvikt 70 kg skallfraktur på ca 50 m från explosionen, se *figur 11* och *tabell 1*. På 75 m har sannolikheten avtagit till 50 % och minskar till 10 % på ca 90 m.



Figur 11. Kombinationer av övertryck och skalad impulstäthet som ger allvarliga skador vid islag av huvudet (från FOA 1997).

Personer utomhus kan även omkomma av fallande byggnadsdelar eller splitter och vi antar därför att alla personer som befinner sig kring hus som förväntas rasera omkommer i explosionen.

En gynnsam omständighet som inte beaktats i detta scenario är att det kommer att ta tid innan en brand i ett fordon med sprängämnen sprider sig till lasten och ger upphov till en explosion. Under denna tidsperiod finns möjligheter att evakuera personer från området. Praktiska erfarenheter från olyckor med sprängämnen visar att evakueringen ofta har kunnat genomföras och lett till en reduktion av antalet omkomna.

Det här beskrivna scenariot ger därför konservativa värden för det förväntade antalet omkomna.

Individrisk

En person antas omkomma om han befinner sig i området kring den bebyggelse som kommer att rasa vid en massexplosion. Avståndet beror på avståndet mellan

transportleden och husen och husens bredd, som default används 30 m för detta. Sannolikheten beräknas med att explosionen måste ske på de 250 m av vägen som är närmast individen.

Samhällsrisk

Sannolikheten för en person att omkomma inomhus är 17 % i de hus som antas rasa vid massexlosionen, dvs de som ligger inom 125 m från olycksplatsen. Alla personer som befinner sig utomhus kring husen antas omkomma, se avsnittet om individrisk.

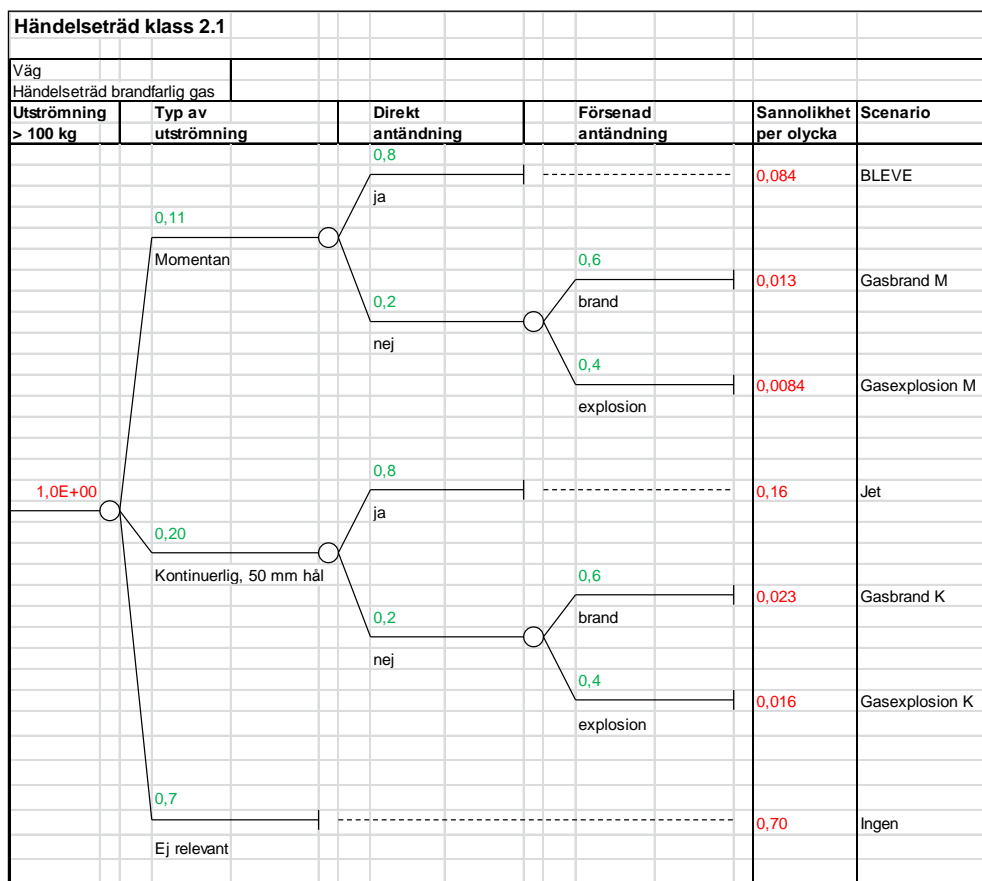
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med brandfarliga gaser per kilometer transportled har beräknats på samma sätt som för massexplosiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

2.2.1 Scenario Jetflamma

I detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken på tankfordon med komprimerad brandfarlig gas. Gasen sprutar ut och antänds vilket leder till en låga som sträcker sig från olycksplatsen in mot området. Inom ett område av 45x74 m (längs vägen x in mot området) förväntas alla omkomma. Utomhus på grund av att människorna hamnar i eller nära lågan, inomhus då byggnaden fattar eld och brinner ner.

Av händelseträdet för brandfarliga gaser, *figur 12*, framgår att sannolikheten för scenario Jetflamma vid en olycka med brandfarlig gas med betydande utströmning är lika med 0,16.



Figur 12. Händelseträd olycka med brandfarlig gas

Individrisk

Scenario Jetflamma antas leda till att oskyddade individer utomhus omkommer inom ett område på 45 m av leden i ledens riktning och som sträcker sig ca 74 m in i området.

En individ omkommer om olyckan sker på de närmaste 45 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 74 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inom ett område på 45 m längs vägen och 74 m in från vägen antas omkomma, såväl inomhus som utomhus.

2.2.2 Scenario Gasbrand vid momentant utsläpp

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds. Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, eller som en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion. Detta är scenario Gasbrand M respektive Gasexplosion M. För dessa scenarier spelar vindriktningen en mindre roll på grund av den stora mängden gas som expanderar och antänds snabbt. För scenario Gasbrand M antas gasmolnet ha sitt centrum på olycksplatsen och en storlek av 18 5x 185 m. Inom ett område av 185 x 93 m (längs vägen x in mot området) omkommer alla ute och inne. Effektområdet har valt med marginal så att det även tas hänsyn till att gasmolnet förflyttar sig i viss mån med vinden innan det antänds.

Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 10* och är lika med 0,013.

Individrisk

En individ omkommer vid detta scenario om han/hon befinner sig inom det brinnande molnet, dvs om olyckan händer inom 93 m från personen och om personen står på ett avstånd av mindre än 93 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inne i det brinnande gasmolnet antas omkomma, inne såväl som ute.

2.2.3 Scenario Gasbrand vid kontinuerligt utsläpp

I detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken på samma sätt som i scenario Jetflamma. Den brandfarliga gasen antänds inte direkt men sprids med vinden mot olycksplatsen. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds. Molnets utsträckning är då 50 x 10 m i vindriktningen. Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, scenario Gasbrand K, eller till en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion, detta är scenario Gasexplosion K.

Vid Scenario Gasbrand K antas alla som vistas i det brinnande molnet omkomma, såväl inomhus som utomhus.

Sannolikheten för Scenario Gasbrand K framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,023 vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området, detta är scenario Gasbrand KT. Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasbrand KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individerisk

I scenario Gasbrand KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 10 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 50 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 50 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 5 m från leden.

Samhällsrisk

I scenario Gasbrand KT antas personer omkomma inom ett område med längd 10 m längs leden och bredd 50 m in från vägen.

I scenario Gasbrand KL antas personer omkomma inom ett område med längd 50 m längs leden och bredd 5 m in från vägen.

2.2.4 Scenario Gasexplosion vid momentant utsläpp

Detta är samma som scenario Gasbrand M, med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns explosionsartat. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar vid en gasexplosion inom ett område på 252 x 252 m, centrum för explosionen antas ligga på leden.

Sannolikheten för detta vid en olycka med utsläpp av brandfarliga gaser framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,0084 vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Individrisk

I scenario Gasexplosion M omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 252 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 126 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inomhus eller utomhus inom ett område med längd 252 m längs leden och bredd 126 m från vägen antas omkomma. Inom ett område utanför detta område med längd 504 m och bredd 252 m antas 3 % av de som befinner sig inomhus omkomma.

2.2.5 Scenario Gasexplosion vid kontinuerligt utsläpp

Dessa scenarier är detsamma som scenario Gasbrand KT och KL med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns snabbare vilket leder till en gasexplosion. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar i ett område av 66x66 m. Sannolikheten för detta är enligt händelseträdet i *figur 12* lika med 0,016 per olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området detta är scenario Gasexplosion KT. Centrum för explosionen antas då ligga 33 m från vägen så att hela effektområdet a ligger vid sidan om vägen.

Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasexplosion KL. Centrum för explosionen antas då ligga på vägen men mitt framför området. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasexplosion KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 66 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 66 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 66 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 33 m från leden

Samhällsrisk

I scenario Gasexplosion KT antas personer inomhus och utomhus omkomma inom ett område med längd 66 m längs leden och bredd 66 m in från vägen.

I scenario Gasexplosion KL antas personer omkomma inom ett område med längd 66 m längs leden och bredd 33 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.2.6 Scenario BLEVE

Vid en BLEVE havererar tanken brandfarlig gas, mestadels på grund av en brand i en annan del av fordonet, vilket leder till ett momentant utsläpp som antänds direkt. Detta kallas en BLEVE och leder till att personer omkommer inom ett område av 80x80m. BLEVE:ns centrum ligger på olycksplatsen. Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 10* och är lika med 0,084 vid en olycka.

Individrisk

En person antas omkomma inom ett område med längd 80 m längs vägen och bredd 40 m in från vägen.

Samhällsrisk

I scenario BLEVE antas personer omkomma inom ett område med längd 80 m längs leden och bredd 40 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med giftiga gaser per kilometer transportled har beräknats på samma sätt som för massexplösiva ämnen i *tidigare avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

Händelseträdet för scenarier med giftiga gaser framgår i *figur 13* nedan.

Händelseträäd klass 2.3			
Händelseträäd väg, gas			
Utströmning >100 kg	Utströmning	Sannolikhet per olycka	Scenario
	0,015 Momentant	0,015	Gasmoln M
1,0	0,20 Kontinuerligt 5 cm hål	0,20	Gasmoln K

Figur 13. Händelseträäd för olycka med giftiga gaser

2.3.1 Scenario Gasmoln M

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. På grund av det snabba händelseförloppet bedöms vindriktningens spela mindre roll. Effektområdena har dock anpassat för att ta hänsyn till spridning med vinden i olika riktningar. Storleken av effektområde 1 bedöms vara 70x70 m med centrum på olycksplatsen. Effektområde 2 har storlek 120x120 m.

Sannolikhet för scenariot framgår av händelseträdet i *figur 13* och är lika med 0,015 per olycka med utsläpp.

Individrisk

En person har 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 70 m av leden från där personen står och 35 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 120 m av leden från där personen står och 60 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma här.

2.3.2 Scenario Gasmoln K

Vid detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken med ammoniakgas. En gasplym uppstår som rör sig i vindriktningen. Sannolikheten för scenariot framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,20 per olycka med utsläpp.

Effektområde 1 har bredd 25 m och längd 135 m i vindriktningen. Effektområde 2 har bredd 75 m och längd 220 m i vindriktningen. Båda effektområden börjar vid olycksplatsen.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen till området, detta är scenario Gasmoln KT. Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasmoln KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasmoln KT har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 25 m av leden från där personen står och 135 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 75 m av leden från där personen står och 220 m in från vägen.

I scenario Gasmoln KL har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 135 m av leden från där personen står och 13 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 220 m av leden från där personen står och 38 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma här.

2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med mycket brandfarliga vätskor på har beräknats på samma sätt som i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

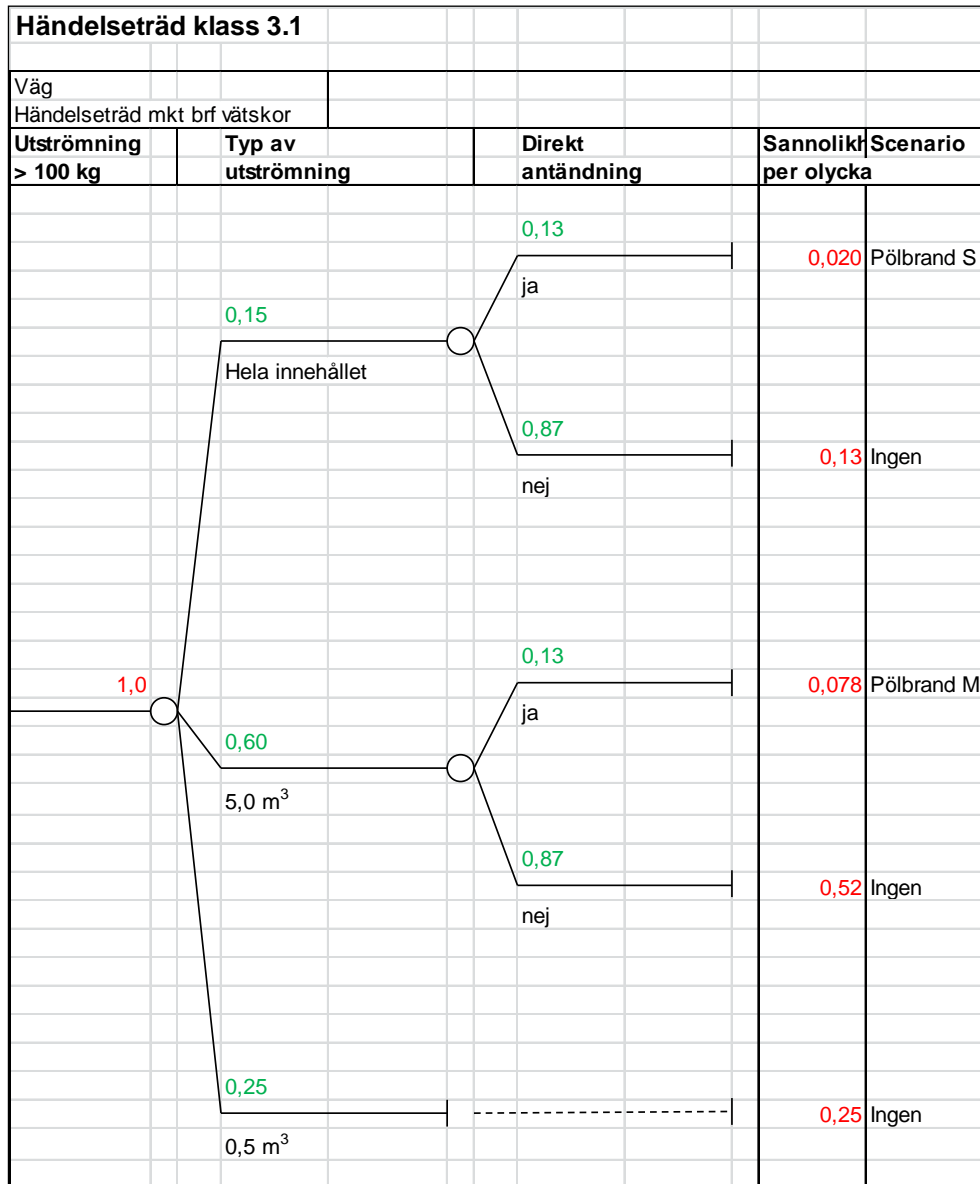
Händelseträdet för scenarier med mycket brandfarliga vätskor framgår i *figur 13* nedan.

2.4.1 Scenarier Pölbrand S och M

I scenario Pölbrand sker en olycka där tanken skadas och ett utsläpp sker av mycket brandfarlig vätska (exempelvis bensin) som rinner ut till en pöl som sedan antänds. Värmestrålningen kan leda till att människor omkommer. Vid en stor pölbrand (Pölbrand S) antas personer inom ett område på 48x48 m omkomma, såväl inne som ute. Vid en mindre pölbrand (Pölbrand M) antas personer inom ett område på 25x25 m omkomma såväl inne som ute. Områdena antas centrerade kring olycksplatsen.

Sannolikhet

Sannolikheten för att ett utsläpp leder till scenario Pölbrand S (en pölbrand med en yta på 600 m²) är lika med 0,020 per olycka med utsläpp av mycket brandfarlig vätska. Sannolikheten för scenario Pölbrand M (en pölbrand med yta 300 m²) är lika med 0,078 per olycka med utsläpp. Se händelseträdet i *figur 14* nedan.



Figur 14 Händelseträd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3.

Individrisk

I scenario Pölbrand S har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 48 m av leden från där personen står och 24 m in från vägen.

I scenario Pölbrand M har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 23 m av leden från där personen står och 13 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom ett område med längd 48 m längs vägen och bredd 24 m in från vägen antas alla omkomma såväl inomhus som utomhus i scenarion Pölbrand S.

I scenario Pölbrand M antas alla utomhus och inomhus omkomma inom ett område med längd 25 m längs vägen och bredd 13 m in från vägen.

2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med oxiderande ämnen med risk för massexplosion har beräknats på samma sätt som för massexplösiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 4*.

Händelseträdet för scenarier med oxiderande ämnen framgår i *figur 15* nedan.

2.5.1 Scenario Explosion S och M

I dessa scenariot har vi utgått från att transportererna sker som ammoniumnitrat som vid blandning med dieselolja kan leda till en explosion som motsvarar 16 ton TNT vid ett stort utsläpp av ammoniumnitrat och cirka hälften vid ett mindre utsläpp. Detta överskattar explosionens kraft då den blandningen som kommer att ske om båda ämnen rinner ut vid en olycka inte räcker för att åstadkomma ett effektivt sprängämne vilket egentligen kräver en ganska exakt blandning av dessa ämnen.

Konsekvenserna av dessa explosioner härleds på samma sätt som för massexplösiva ämnen i klass 1.

Sannolikhet

Sannolikheten för en olycka med dessa transporter per kilometer transportled framgår av *figur 3*.

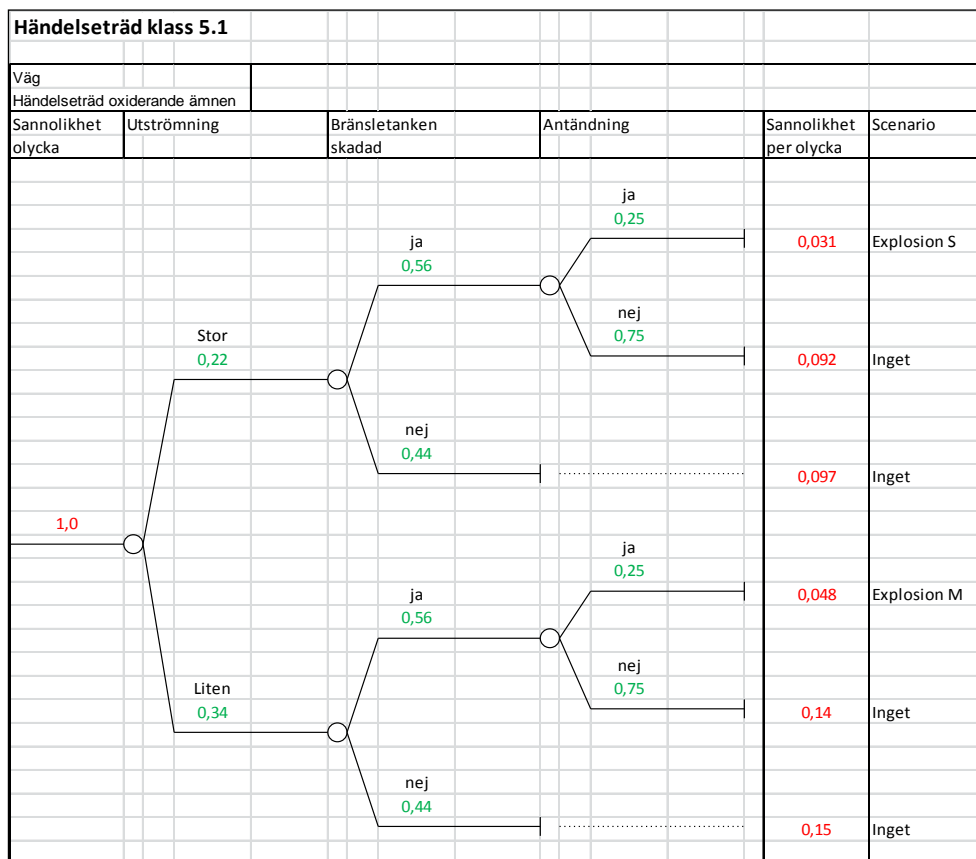
För att en olycka med en transport med oxiderande ämnen skall leda till betydande konsekvenser krävs att det oxiderande ämnet blandas med dieselolja och att blandningen antänds. För att detta skall ske måste flera förutsättningar vara uppfyllda:

1. Ett betydande utsläpp av oxiderande ämnen måste ske.
2. Utsläpp av dieselolja måste ske.

3. Blandningen måste antändas.

Sannolikheten för detta framgår av händelseträdet i *figur 15* nedan.

Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankbilar.



Figur 15 Händelseträd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion.

Konsekvenser

Två scenarier finns beroende på storleken på utsläppet av det oxiderande ämnet. Storleken på utsläppet av den brandfarliga vätskan är av mindre vikt då en explosiv blandning endast kräver en mindre mängd brandfarlig vätska (ca 1 del brandfarlig vätska på 7 delar oxiderande ämne). Ett stort utsläpp av oxiderande ämnen ger scenario Explosion S, ett något mindre utsläpp ger scenario Explosion M.

Konsekvenserna av en stor explosion har antagits vara desamma som för en explosion av 16 ton TNT. Konsekvenserna avseende individrisk och samhällsrisk är således desamma som i scenariot för klass 1.1.

Konsekvenserna för en mindre explosion har antagits vara hälften av konsekvenserna av en stor explosion.

3. Beräkningsresultat

I tabell 2 och 3 presenteras resultaten av riskberäkningarna för området som presenteras grafisk i av den blåa och den lila linje i figur 3.9:1 i rapporten.

Tabell 2. Riskberäkningar för verksamhetsområdet i nuläge.

Sammanställning av beräkningsresultat E20												
Klass	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{scen} /år, km	Effektområde 1			Effektområde 2			Omkomna		
				längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd		F _{omk. inne}	F _{omk. ute}
1.	1,9E-06	Massexplosion	1,1E-08	250	66	0,17	1,00	-	-	-	3,3E-09	25,0
2.1	3,6E-06	Jet	5,7E-07	45	74	1,00	1,00	66	80	0,07	1,8E-07	10,4
		Gasbrand M	4,6E-08	185	93	1,00	1,00	-	-	-	1,4E-08	64,2
		Gasbrand KT	2,5E-08	10	50	1,00	1,00	-	-	-	7,9E-09	0,9
		Gasbrand KL	2,3E-08	50	5	1,00	1,00	-	-	-	7,3E-09	0,0
		Gasexplosion M	3,0E-08	252	126	1,00	1,00	-	-	-	9,4E-09	123,5
		Gasexplosion KT	1,7E-08	66	66	1,00	1,00	-	-	-	5,3E-09	12,1
		Gasexplosion KL	1,6E-08	66	33	1,00	1,00	-	-	-	4,8E-09	0,0
		Bleve	3,0E-07	80	40	1,00	1,00	110	55	0,07	9,4E-08	3,0
2.3	4,7E-08	Gasmoln M	4,9E-09	70	35	0,10	1,00	120	60	0,30	1,5E-09	0,7
		Gasmoln KT	2,8E-09	25	135	0,10	1,00	75	220	0,30	8,6E-10	2,7
		Gasmoln KL	2,5E-09	135	13	0,10	1,00	220	38	0,30	7,9E-10	0,1
3	0,00024	Pölblbrand S	4,7E-06	48	24	1,00	1,00	-	-	-	1,5E-06	0,0
		Pölblbrand M	1,9E-05	25	13	1,00	1,00	33	17	0,04	5,9E-06	0,0
5.1	4,1E-07	Explosion L	2,1E-09	125	66	0,17	1,00	-	-	-	6,4E-10	12,5
		Explosion M	8,2E-09	88	57	0,17	1,00	-	-	-	2,5E-09	8,8

Tabell 3. Riskberäkningar med skyddsåtgärder E20

Sammanställning av beräkningsresultat E20													
Klass	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{scen} /år, km	Effektområde 1				Effektområde 2				F _{scen} /år	Om-komma
				längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}		
1.	1,4E-06	Masseexplosion	7,8E-09	251	64	0,17	1,00	-	-	-	-	2,4E-09	25,1
2.1	3,4E-06	Jet	5,2E-07	45	74	1,00	1,00	66	80	0,00	0,07	1,6E-07	11,0
		Gasbrand M	4,2E-08	185	93	1,00	1,00	-	-	-	-	1,3E-08	66,8
		Gasbrand KT	2,6E-08	10	50	1,00	1,00	-	-	-	-	7,9E-09	1,0
		Gasbrand KL	2,2E-08	50	5	1,00	1,00	-	-	-	-	6,7E-09	0,0
		Gasexplosion M	2,8E-08	252	126	1,00	1,00	-	-	-	-	8,7E-09	123,5
		Gasexplosion KT	1,7E-08	66	66	1,00	1,00	-	-	-	-	5,3E-09	13,0
		Gasexplosion KL	1,4E-08	66	33	1,00	1,00	-	-	-	-	4,4E-09	0,0
		Bleve	2,8E-07	80	40	1,00	1,00	110	55	0,00	0,07	8,7E-08	4,1
2.3	4,4E-08	Gasmoln M	4,6E-09	70	35	0,10	1,00	120	60	0,03	0,30	1,4E-09	0,9
		Gasmoln KT	2,8E-09	25	135	0,10	1,00	75	220	0,03	0,30	8,6E-10	2,7
		Gasmoln KL	2,3E-09	135	13	0,10	1,00	220	38	0,03	0,30	7,2E-10	0,2
3	0,00021	Pölblbrand S	4,0E-06	48	24	1,00	1,00	-	-	-	-	1,2E-06	0,0
		Pölblbrand M	1,6E-05	25	13	1,00	1,00	33	17	0,00	0,04	5,0E-06	0,0
5.1	3,4E-07	Explosion L	1,7E-09	127	64	0,17	1,00	-	-	-	-	5,4E-10	12,7
		Explosion M	7E-09	92	57	0,17	1,00	-	-	-	-	2,2E-09	9,2

4. Referenser

- EAI 1997 High explosive assessment model, 5th industrial version in SI units, Engineering Analysis Inc. 1997
- ERM 2008 SAFEX-paper Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link: An overview of the explosives aspects in a quantitative risk analysis for the road transport of cartridged emulsion explosives and accessories through a densely populated area. ERM-Hong Kong Ltd, 2008
- FEMA 2008 Highway Vehicle Fires, Topic Fire Report Series Volume 9, Issue 1, FEMA September 2008
- FOA 1997 Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, Försvarets Forskningsanstalt, september 1997
- FOA 2000 Explosivämneskunskap, Institutionen för energetiska material, Försvarets Forskningsanstalt 2000
- NFPA 2010 National Fire Protection Association, US Vehicle Fire Trends and Patterns, June 2010
- PGS2 2005 Methods for the calculation of Physical Effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases), Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Committee for the Prevention of Disasters, 2005.
- PGS3 2005 Guidelines for quantitative risk assessment, Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Advisory Council in Dangerous Substances, 2005
- SRV 1996 Farligt gods – Riskbedömning vid transport, Statens Räddningsverk, Risk- och miljöavdelningen 1996

SRV 2005	Dynamisk lastpåverkan – Referensbok, Statens Räddningsverk, Karlstad, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2005
SRV 2007	Bebyggelsens motståndsförmåga mot extrem dynamisk belastning, delrapport 1 Last av luftstötstång, Statens Räddningsverk, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2007
USCB 2012	United States Census Bureau, Statistical Abstract of the United States: 2012
Vägverket 2008	Effektsamband för vägtransportsystemet. Nybyggnad och förbättring, Effektkatalog Kap 6 Trafiksäkerhet, Vägverket publikation 2008:11