

Säkerhetsbrister och skador vid tanktransport av farligt gods på väg



**RÄDDNINGSS
VERKET**

1999 Räddningsverket, Karlstad
Räddningstjänstavdelningen.
ISBN 91-7253-013-8

Beställningsnummer P21-290/99
1999 års utgåva

Säkerhetsbrister och skador vid tanktransport av farligt gods på väg

Håkan Torstensson, SSPA Maritime Consulting AB,
Göteborg

Räddningsverkets kontaktperson:
Lena Tistad, enheten för farligt gods och kemi, telefon 054-10 43 15

Innehållsförteckning

Förord	1
Abstract.....	2
Sammanfattning.....	3
Tankar och tankcontainrar för farligt gods - översikt.....	4
<i>Tanktransporter ett säkerhetsproblem.....</i>	<i>4</i>
<i>Typer av behållare.....</i>	<i>5</i>
<i>Bestånd av tankfordon i Sverige.....</i>	<i>7</i>
<i>Olyckstyper</i>	<i>8</i>
Identifiering av avgörande olyckshändelse	8
Rapporterade olyckor.....	8
Olyckssituationer enligt THESEUS	10
Brottorsaker	11
Simulering av olyckor.....	12
Skadefaktorer.....	14
Händelsekedjor	15
Analys av skadefaktorer.....	17
<i>Systematisk skadeanalys</i>	<i>17</i>
<i>Tanken.....</i>	<i>17</i>
Konstruktion	18
Tvärsnittsförm.....	20
Väggjocklek.....	21
Material.....	24
Svetsbarhet.....	25
Utrustning	26
Rullningsskydd	27
Domlock	27
Extra skydd för tanken.....	28
Underhåll	28
<i>Fordonet</i>	<i>28</i>
Stabilitet, tyngdpunktsläge	29
Bromsar.....	30
Hastighet	31
Däck.....	31
På/underkörningsskydd.....	31

<i>Vägen</i>	31
Bredd.....	32
Sikt.....	32
Kurvdosering	32
Korsning	32
Väggkant, slänt	33
Objekt vid väggkanten.....	33
Körbana.....	33
Halka.....	33
Skyddsobjekt	33
Trafiktäthet	33
<i>Föraren</i>	34
<i>Godset</i>	36
Överfyllnad	36
Tryck.....	37
Densitet	37
Låg fyllnad – skvalprisk	37
Egenskaper.....	37
<i>Information</i>	38
Regelverken	38
Standarder	39
Transportdokumentation.....	39
<i>Olyckstyp</i>	40
Singelolycka	40
Kollision	40
Vältning	40
Utmattning.....	40
Utrustningshaveri.....	40
Kostnads-nyttö överväganden	41
Skadeanalys.....	43
<i>Analys av händelseförloppet</i>	43
<i>Exempel på händelseutveckling</i>	53
<i>Spårsäkring</i>	54
<i>Insamling av information</i>	54
<i>Materialsador</i>	55
Referenser.....	56
Bilaga 1. Formulär för haverirapport – räddningstjänst	
Bilaga 2. Formulär för haverirapport – teknisk utredning	

Förord

Tanktransporter av farligt gods utgör en stor potentiell risk på grund av de stora volymer farliga ämnen som kan komma ut vid en olycka. Ett antal olyckor har också hänt, vilket gjort att intresse riktas mot såväl sätt att förebygga dem som att begränsa skadeverkningarna. Viktigt underlag är analyser av inträffade skador, deras orsaker och möjligheterna att med utveckling av regelverk, konstruktionsförändringar, komplettering av utrustning eller på annat sätt förebygga och minimera dem. Denna rapport är ett bidrag till tekniken för sådan analys.

Ett tack riktas till Räddningsverket för att ha tagit initiativ till och finansierat projektet, till Håkan Hermansson och Mikael Rehn vid SAQ för utveckling av rapportformulär och granskning av rapportinnehållet med många förslag till förbättringar, till Peter Grundevik vid SSPA för genomgång, diskussion och nedtecknande av Theseus-slutsatser och till Aston Carlsson vid LAG Sweden för diskussion om skadebilder och skadeorsaker och för lån av kamera.

Göteborg i januari 1999

Håkan Torstensson

Abstract

Tank transport has since long been in focus in the safety work on transport of dangerous goods, because of the relatively large consequences that may be the result of an accident. In regulations and rules primarily technical conditions for a safe transport are given, directed at the design and equipment of the tank itself. These factors are of course very essential for safety. The German Theseus project has treated the technical problems very thoroughly, such as stability, wall thickness, collision and roll-over behaviour, dome covers and impact protection. The conclusion to be drawn is however that safety gain in this area can be obtained only at a very high cost. It is probably more efficient to work with the roles of the different actors in the transport chain, to reduce the risk for erroneous action by technical and educational means.

For an effective safety work we need knowledge about the chain of events leading to an accident, as well as about the development after the critical accident. An essential part of this is the damage analysis of occurred accidents. A systematic approach for such investigations and analyses of the sequence of events up to the critical event – leakage of dangerous materials – is described in this report. It contains a compilation of experience and published conclusions from typical tank damage categories, in particular a consideration of results from the Theseus study and an approach to cost-benefit analysis for possible safety-improving steps. The report also gives proposals for standard forms for the preliminary and the technical damage analysis and a procedure scheme for the technical work.

Sammanfattning

I säkerhetsarbetet med transporter av farligt gods har tanktransporter kommit i fokus på grund av de relativt stora konsekvenser som kan uppstå vid en olyckshändelse. I regelverk och anvisningar behandlas företrädesvis tekniska förutsättningar för en säker tanktransport, inriktat på själva tankens konstruktion och utrustning, faktorer som givetvis är högst väsentliga för säkerheten. Det tyska Theseus-projektet har mycket ingående utrett teknikfrågorna, som stabilitet, väggjocklek, krock- och vältningsbeteende, domlock och påkörningskydd. Den slutsats som kan dras är att fortsatta säkerhetsvinster på detta område endast erhålls till mycket höga kostnader. Effektivare är sannolikt att arbeta med de olika aktörernas roll i transportkedjan, för att med tekniska och pedagogiska medel reducera risken för felhandlingar.

För ett målinriktat säkerhetsarbete erfordras kunskap om händelsekedjan fram till olyckstillfället, liksom om utvecklingen efter att olyckan ägt rum. Ett väsentligt led i detta är skadeanalysen av inträffade olycksfall. En systematik för en sådan undersökning och analys av händelseförloppet fram till den kritiska händelsen – utflöde av farliga ämnen – redovisas i denna rapport. Den innehåller en sammanställning av erfarenheter och publicerade slutsatser av typiska tankskador, speciellt en genomgång av resultat från Theseus-projektet och en ansats till kostnads-nyttanalys för möjliga säkerhetshöjande åtgärder. Rapporten ger också förslag på standardformulär för såväl den preliminära som den tekniska skadeanalysen och ett arbetsschema för denna.

Tankar och tankcontainrar för farligt gods - översikt

Tanktransporter ett säkerhetsproblem

Farligt gods har sedan länge varit underkastat tekniska och operationella regler för att en tillfredsställande säkerhet skall uppnås. Frekvensen av olyckor, då farligt gods kommer ut och orsakar skada är också mycket liten. Det allmänt använda riskbegreppet, som avser en kombination av frekvens eller sannolikhet för en olyckshändelse och konsekvenserna av denna, gör dock att olyckor med låg frekvens men med stora konsekvenser utgör en risk som ofta inte kan accepteras. Inom området transporter av farligt gods utgör tanktransporter en sådan kategori, där konsekvenserna på grund av de stora kvantiteterna som ryms i en tank kan bli stora. Exempel på händelser som visar detta är branden i Spanien 1978, orsakad av en överfylld propantankbil och den i Herborn 1987, som orsakades av en vält tankbil med undermåliga bromsar. I Sverige har stora läckage skett då tankbilar med bensin och eldningsolja kört av vägen. Gasolutsläppet i Stockholm 1998 orsakades av en dåligt fäst slang på släpvagnen. I det senare fallet blev dock de faktiska konsekvenserna små, trots en hög potentiell fara.

Efter Herbornolyckan intensifierades diskussionen i framför allt Tyskland om att föra över transporter av farligt gods på järnväg. Vissa utredningar gjordes, exempelvis [1], som nyanserar argumentationen genom bland annat följande slutsatser.

- Det finns inte infrastrukturella förutsättningar för en storskalig överföring av farligt gods till järnväg.
- Tankfordon för vägtransport är av mycket skiftande kvalitet. Det är inte rimligt att generellt eliminera alla.
- Personalbehovet kan inte rekryteras inom överskådlig tid.
- Säkerhetsvinsterna har överskattats.

Frågan är överhuvudtaget så komplex, såväl från riskbedömnings-synpunkt som ekonomiskt och trafikpolitiskt att något entydigt resultat inte stått att få. Även på järnväg sker olyckor med stora potentiella eller faktiska konsekvenser. Svenska exempel under senare år är urspårningarna i Kävlinge och Kälarne.

I övrigt har intresset varit inriktat på teknik vad avser tankens konstruktion och utrustning. Tankväggens tjocklek, materialval, domlockens funktion och konstruktion, säkerhetsventiler med mera har central betydelse för säkerheten vid såväl normal transport som olyckor. Det tyska THESEUS-projektet som löpt under 1990 – 1995 har inriktats på dessa frågor. Resultatet [2] synes dock visa på att vid nuvarande tekniknivå kostnaden blir mycket hög för att få ytterligare säkerhetshöjande effekt.

Typer av behållare

Följande huvudsakliga kategorier av tankar och tankcontainrar används för transport av farligt gods på väg.

Trycklösa: tankar som töms med självtryck

Trycktankar: tankar som fylls och töms under tryck

Huvudsakliga konstruktionsmaterial är stål, rostfritt (austenitiskt) stål, aluminium och i någon omfattning glasfiberarmerad polyesterplast. Tankar av olika material har i regel mycket olika egenskaper och förutsättningar, vilket måste hållas i åtanke då deras prestanda diskuteras.

Tankar för *brandfarlig vätska* är nästan uteslutande tillverkade i aluminium. Ett fåtal är tillverkade av stål. Dessa är oftast isolerade och används för bitumenprodukter som transporteras i ca 150 °C. Tankar för bitumenprodukter består i regel av ett fack medan övriga tankar är fackindelade. Tankarna med ett fack har dock skvalpskott vilket inte alltid är fallet för tankar med flera fack.

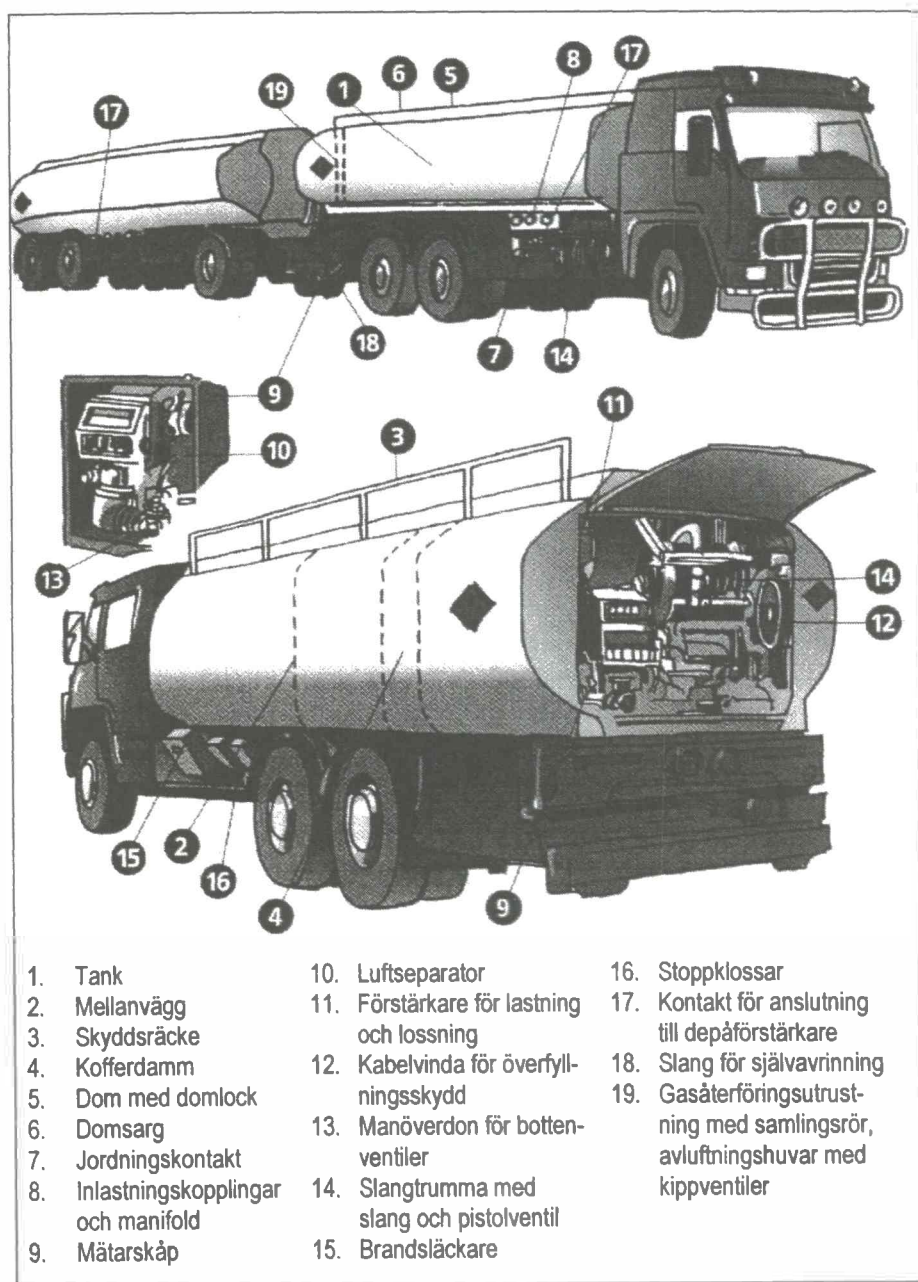
Aluminiumtankar har en godstjocklek på 5 – 6 mm. Den ledande principen för svenskbyggda tankar är att tanken vilar på en längsgående ponton. Gummiupphängda sadlar utnyttjas i montage på fordonsschassit. Dessa tar upp vridningar. På släpvagnar monteras hjulaxlar på tankens pontoner.

Vissa tankar är dock självbärande utan pontoner eller andra förstärkningar på undersidan av tanken. Istället används en extra aluminiumplåt monterad horisontellt utmed var sida på tanken. På släpvagnar är stöttor monterade under hjulinfästningarna. Avsikten är att tanken skall vara elastisk och ta upp vridningar utan att spricka.

Kemväsketankarna är vanligen cylindriska. De flesta är gjorda av syrafast stål, men det finns också tankar i glasfiberarmerad plast. Plast som konstruktionsmaterial kan bara konkurrera i klassen kemvätskor, då priset för aluminiumtankar för brandfarliga vätskor är lägre. Plast är inte tillåtet som material i tankar för gas. Tankar i plast är inte självbärande utan monteras i en ram som tar upp och fördelar belastningarna. De flesta tankar för kemvätskor är byggda i stål och självbärande. Materialet är kraftigare än aluminium och lämpar sig bättre för den självbärande principen. Tankarna för kemvätskor är av både en- och flerfackstyp.

Gastankar för kondenserade brandfarliga, giftiga eller frätande är tillverkade av höghållfast kolstål med godstjocklekar på 10 – 15 mm eller av rostfritt stål. Alla tankar är självbärande och förstärkningar är ej nödvändiga. Luftgaser kan transporteras i tankar av rostfritt stål med mindre godstjocklek.

Storleken skiljer inte på utlandstillverkade och svensktillverkade tankar. Volymen på tankar varierar från ett par m³ till närmare 60 m³ för större påhängsvagnar. 1990 höjdes gränsen för maximalt tillåten bruttovikt på fordonsekipage från 51,6 till 56 ton. Sedan dess har det fyraxliga släpet varit helt dominerande.



Figur 1. Principskiss över ett petroleumtankfordon och dess utrustning (från [3]).

Bestånd av tankfordon i Sverige

Enligt [4] fanns vid årsskiftet 1991 – 92 4 501 tankfordon för farligt gods inklusive släpvagnar i Sverige. Av 2 103 fordon var 1 246 i trafik. Vid den tiden var 12 % utlandstillverkade, en andel som ökat sedan dess. Antalet släp var 2 398 st.

Beståndet kan delas in i tre kategorier, tankar för brandfarlig vätska, tankar för kemvätska och tankar för kondenserad och djupkyld gas. Fördelningen av tankarna är ungefär enligt följande tabell:

Tabell 1. Olika tanktypers andel av totala antalet (ca. 4 500 st.).

Kyld kondenserad gas, dragfordonsmonterad	0,6 %
Kyld kondenserad gas, släp- eller trailermonterad	2,8 %
Kyld kondenserad gas, avmonterbar	0,0 %
Brandfarlig kondenserad gas, dragfordonsmonterad	0,4 %
Brandfarlig kondenserad gas, släp- eller trailermonterad	1,3 %
Brandfarlig kondenserad gas, avmonterbar	0,1 %
Giftig/frätande kondenserad gas, dragfordonsmonterad	0,2 %
Giftig/frätande kondenserad gas, släp-/trailermonterad	0,3 %
Giftig/frätande kondenserad gas, avmonterbar	0,7 %
Petroleum (trycklös), dragfordonsmonterad	34 %
Petroleum (trycklös), släp- eller trailermonterad	31 %
Petroleum (trycklös), avmonterbar	3,2 %
Kemi (4 bar), dragfordonsmonterad	5,2 %
Kemi (4 bar), släp- eller trailermonterad	9,9 %
Kemi (4 bar), avmonterbar	1,8 %
Pulver, dragfordonsmonterad	0,3 %
Pulver, släp- eller trailermonterad	0,4 %
Pulver, avmonterbar	0,1 %
Slamsugare, dragfordonsmonterad	6,1 %
Slamsugare, släp- eller trailermonterad	1,0 %
Slamsugare, avmonterbar	0,5 %

Brandfarlig vätska motsvarar ADR klass 3, kemvätskor motsvaras vanligen av ADR klass 6.1 och 8, och kondenserad samt djupkyld gas ingår i ADR klass 2.

Den helt dominerande gruppen är brandfarlig vätska. Av denna utgör i sin tur olje- och petroleumprodukter den absolut största delen (nära 70 % enligt tabell 1).

Olyckstyper

Identifiering av avgörande olyckshändelse

Den avgörande olyckshändelsen får i detta sammanhang, tanktransport av farligt gods, anses vara då farliga ämnen läcker ut från tanken på ett okontrollerat sätt. En katalog över händelser som ger detta som omedelbart resultat är följande:

1. Punktering av tanken på grund av påkörning, dikeskörning eller vältning.
2. Läckage på tanken på grund av korrosion
3. Läckage på tanken på grund av utmattningsbrott [5]
4. Läckage på tanken på grund av undermålig svetsning [5]

Det vanligaste är att läckage orsakas av bristande underhåll och felaktig hantering av utrustning snarare än av plötslig olyckshändelse [2].

Rapporterade olyckor

I [5] beskrivs två händelser med läckande cisternvagnar. I båda fallen är orsaken felaktig svetsning, ena gången för att tankmaterialet inte hade avspänningsglödgats utan utvecklade korrosionsutmattningssprickor i anslutning till korsande svetsar, andra gången hade två korsande svetsar med för hög porositet en spänningskoncentration som ledde till sprödbrott. I detta fallet samverkar en kedja av faktorer:

- Temperaturen var låg (-5°C) vilket ger försprödning av materialet,
- En stöt från tågrörelserna utlöste sprickan,
- Svetsen i botten på tanken, som var porös och undermålig enligt ovan.

En sammanställning av olyckor med tankfordon och tankcontainrar i Tyskland har gjorts inom ramen för Theseusprojektet [2]. Mot bakgrund av bland annat frågeställningarna kring bakre påkörningsskydd har i föreliggande projekt en sammanställning gjorts av de under det senaste året rapporterade olyckshändelserna med tankfordon och tankcontainrar i Tyskland. Informationen i tabell 2 har hämtats från GUNDI [6].

En motsvarande sammanställning över aktuella olyckor i Sverige ger ungefär samma bild av orsaker och händelseförlopp (tabell 3).

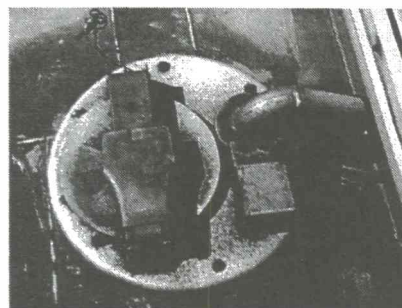
Tabell 2. I Tyskland rapporterade olyckshändelser med tankfordon och tankcontainrar 1997 – 98.

Händelse	Orsak	Farligt gods	Läckage	Datum
Läckande tankbil	Trasig ventil	Eldningsolja	200 l	97-01-13
Vält tankbil	Kört i diket	Klass 2	Inget	97-03-19
Vält tankbil	Hög hastighet, sladd	Oxygen	Läckage	97-06-10
Läckande tankbil	Förslutning felaktig	Dieselolja	Läckage under färd	97-07-28
Vält tankbil	Kollision med personbil	Eldningsolja	Läckage	97-10-13
Vält tankbil	Hög hastighet, sladd	Mineralolja	10 l	97-11-03
Vält tankbil	Halka	Eldningsolja	Skadat tankfack, 3000 l	97-12-09
Oljeleverans	Trasig ledning	Eldningsolja	Läckage från ledningen	97-12-17
Kollision	Halka, personbil på fel sida	Propan	Inget	97-12-20
Vält tankbil	Svag väggkant	Eldningsolja	500 l	97-12-22
Påkörd tankbil	Kollision med lastbil	Dieselolja	Skadad tank, 5 ton	98-01-15
Tömd tankcontainrar	Ej tillslutet domlock	Saltsyra	Ånga från locket	97-02-28
Förare upptäckt läckage	Ej angett	Akrylat	Mindre	97-10-08
Kollision	Kollision med långtradare	Dieselolja	Skadad tank, 1000 l	97-10-20
Vält fordon med tankcontainer	Hög hastighet, vält på avfart	Klorpropionsyra	Mindre från domlock	98-01-02
Slamsugare	Otät ventil	Salpetersyra (avfall)	Först litet, men vid omlastning stort läckage	97-08-21

Tabell 3. I Sverige inträffade olyckshändelser med tankfordon 1997/08 – 1998/03 (från IT-rapporter).

Händelse	Orsak	Farligt gods	Läckage	Datum
Uppställd tankbil	Läckage	Monoklorättiksyra	9 l	97-08-26
Brand i tankbil	Varmgång i framhjul	Monoklorättiksyra	Inget	97-09-05
Vält tankbil		Dieselolja	Små mängder	97-11-02
Vält tankbil	Halka, kollision med buss	Dieselolja	Stor mängd	97-11-25
Gasoltankbil	Lossnad, överkörd slang	Gasol	7000 kg	98-02-13
Överföring till släp	Läckande slang	Bensin	200 l	98-02-26
Tankbil över slänt	Halka	Eldningsolja	Inget	98-03-02
Poliskontroll	Läckage från tankbil	Butyraldehyd	Skarp lukt	98-03-03

Enligt åtskilliga undersökningar är manluckan (domlocket) ett kritiskt ställe på tanken. Runt 75 % av skador med läckage av farligt gods beror på att tanken välts, och i cirka hälften av dessa fall läcker domlocket. I [7] beskrivs 33 olyckor med välta tankfordon. I 25 fall blev tanken avsevärt skadad med läckage i 23 av fallen. Följande skadefördelning noterades med data från Theseus-rapporten [2] som jämförelse:



Figur 2. Domlocket är en av tankens svagaste punkter

Tabell 4. Skadeorsaker (USA, Tyskland)

Orsak	Antal fall (välta fordon, USA)	Antal fall (alla typer, Tyskland)
Domlock öppnat	13 (57 %)	36 (34 %)
Tankens svetsfog rämnat	5 (22 %)	} 48 (45 %)
Tankväggen punkterad	4 (17 %)	
Både punktering och rämnad svets	1 (4 %)	
Skadade ledningar och ventiler		21 (20 %)

Olyckssituationer enligt THESEUS

I 6 % av olycksfallen med tankbilar innehållande farligt gods i Tyskland, släpps substansen ut. Dessa olyckor orsakar de största skadorna. THESEUS projektets syfte var att förstå orsaker, processer och uppkomna skador i sådana olyckor och ge förslag till åtgärder för att undvika dem.

Allvarliga tankfordonsolyckor med farligt gods kan delas in i tre kategorier.

Singelfordonsolyckor uppvisar den största risken. I två fall av tre där farlig substans släppts ut har tankfordonet välts. Bara hälften av olyckorna uppkommer i kurvor, medan den andra hälften inträffar då fordonet avviker från en rak kurs på ett rakt vägavsnitt. Medelhastigheten innan fordonet slår runt är 48 km/h. Av olyckorna inträffar 28 % i hastigheter över 70 km/h. Det är nära två gånger vanligare att fordonet välter åt höger än åt vänster. *Som följd av högertrafik har föraren i regel mer kontroll åt vänster och en vägren till höger.*

Den näst vanligaste olyckstypen där farligt ämne släpps ut är *påkörning bakifrån* på tankfordonet. Denna typ utgör ca 10 % av olyckorna. Medelhastigheten vid kollisionen är 20 km/h.

Sidokollision mot tankfordonet utgör den tredje största olycksrisken. Dessa står för 4 % av olyckorna.

Tillsammans står dessa tre typer för 80 % av alla olyckor där farligt ämne släpps ut. I framtiden bör utvecklingsfokus ligga på att undvika dessa olyckstyper.

De viktigaste orsakerna till utsläpp av farligt gods är skador på *tankmantel* (30 %) och *tankgavlar* (7 %), *läckande domlock* (25 %) och *öppna domlock* (2 %) samt skadade *röravslutningar och ventiler* (15 %).

Deformation av typen bucklor och intryckning utgör den största andelen (41 %) av skador på tankskalet. Därefter kommer veckformation (22 %), uppriven plåt (10 %), punktering av tanken (7 %) och sprängning (3 %).

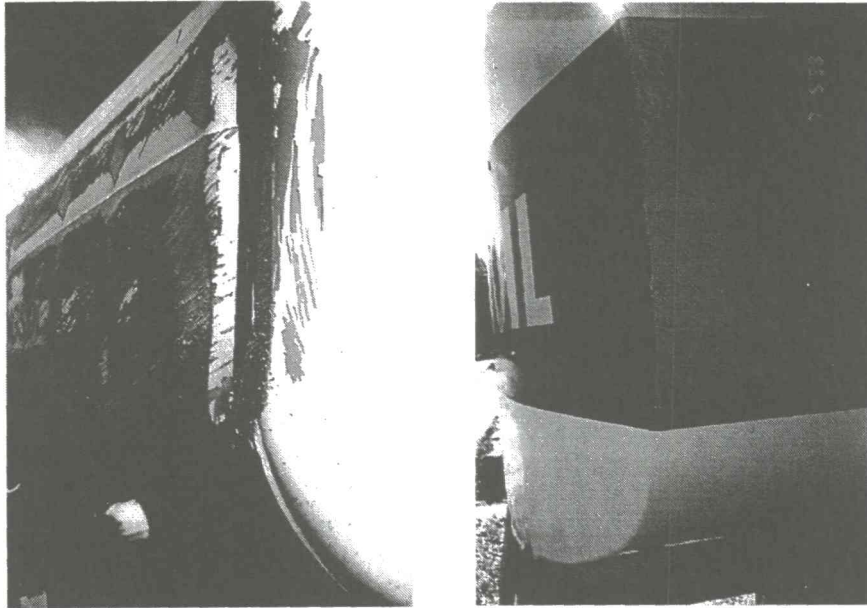
72 % av de tankfordon som varit inblandade i olyckor innehöll brandfarliga vätskor av ADR-klass 3 (56 % diesel/eldningsolja, 16 % bensin). Theseusrapporten innehåller även statistik på detaljnivå, som delvis refereras under respektive avsnitt nedan.

Brottsaker

De flesta fall av allvarliga skador på själva tankskalet har uppkommit genom kollision eller vältnings, där brott uppstått plötsligt genom att materialets brottgräns har överskridits. Ofta gör förstuvningar och skott att spänningskoncentrationer uppstår som ger brott i anslutning till sådana element.

En del skador uppstår i stället genom långvarig belastning, där mekanismen är krypning och framför allt utmattning.

Utmattning uppstår under växlande belastning vid en nivå som inte uppnår materialets brottgräns, som en långsamt tillväxande spricka. Ibland påskyndas processen av en ogynnsam miljö, som ger korrosion eller spänningssprickbildning. Utmattningssprickor har iakttagits främst på tankens undersida, i anslutning till infästningarna mot chassit, och i övergången mellan mantel och gavel. I det senare fallet kan orsaken vara att svetsarna (som inte är idealiskt placerade) slipas ner vid efterbehandling så att de inte längre har tillräcklig styrka.



Figur 3. Skarpa veck, förstyvningar, förtunnat material och felplacerade svetsar kan ge upphov till sprickor i materialet.

Simulering av olyckor

För att studera de viktigaste olyckstyperna påkörning bakifrån, sidokollision och vältande fordon har motsvarande test genomförts inom ramen för THESEUS-projektet.

I testerna med *påkörning bakifrån* har 16 till 22 tons lastbilar kolliderat med olika tankfordon. Aluminiumtankar med 4,0 och 5,0 mm väggtjocklek har brustit redan vid kollisionshastigheter på 25 till 27 km/h. Bristningen var en följd av lokal inträngning av aggressivt utformade delar och inte på grund av allmän deformation från den tillförda stötenergin.

Inga bristningar inträffade under motsvarande förhållanden för koffertformade tankbehållare av aluminium med dubbla tankgavlar (tjocklek två gånger 5,12 mm) och cylindriska tankar av stål (tjocklek 4,6 mm). Dubbla gavelplåtar är lika effektivt på andra tankformer.

Det uppstod heller inga bristningar i motsvarande kollisioner på tankfordon med koffertformade behållare som var utrustade med bakre påkörningsskydd. Tanken demolerades däremot, varför det finns utrymme för förbättring av skyddens utformningen.

I *sidokollisionstesterna* användes lastbilar på 16 ton. Vid en hastighet på 40 km/h eller högre i kollisionstillfället brast tankarna. Även i dessa fall berodde bristningen på lokal inträngning av aggressivt

utformade delar och inte på grund av allmän deformation från kollisionen.

I 40 % av fallen välte tankfordonet och tanken brast när den träffade marken. För semitrailer välte fordonet vid kollisionshastigheter på minst 50 km/h och för släpvagnar vid en hastighet på 25 km/h eller högre. En sidokollision i 75 km/h med en personbil på 1,5 ton skadade inte tanken.

Man hävdar att med förbättrade kollisionsskydd kan bristningar i tankar undvikas vid påkörning bakifrån i hastigheter upp till 60 km/h och vid sidokrockar upp till 50 km/h. Flexibelt band, friktionskil och däckskydd är olika energiabsorberande skydd för bakre påkörning som studerats. Förbättrade sidokollisionsskydd som chassistötter, sidoutbyggnader och skyddsmedar på öppna tankytor har också studerats. Ett önskemål är att resultaten utnyttjas för utveckling av serieproducerade skydd som skyddar både tank och kolliderande fordon.

I *vältningstester* var fordonshastigheten 50 km/h. Ingen tank brast i dessa tester men skador på utstickande tankdelar utgör ändå en potentiell risk.

I inre delen av de koffertformade tankarna brast alltid svets sömmarna i skiljeväggarna. En konsekvens av detta är att utesluta väggarna och därmed skilda fack. En oönskad konsekvens är då att den yttre tankväggen utsätts för ökad belastning. *I cylindriska tankar klarade sig skiljeväggarna från allvarliga skador.*

I nästan alla välttester erhöles en intensiv spraydimma från domlocken när tanken slog i vägen. Detta beror på tillfällig deformation av lock och tätningsflänsar. Locken öppnades aldrig fullständigt. Det beskrivna förloppet stämmer väl överens med verkliga olyckor.

Mot bakgrund av de utförda försöken redovisas följande synpunkter och förslag till förändringar av tankkonstruktionen.

Vid tankolyckor bestäms gränsen för när tanken brister av materialegenskaper, då belastningen är koncentrerad och orsakad av aggressivt utformade delar som träffar tanken. Är belastningen utbredd brister tanken oftast där skillnader i styvhet orsakar spänningskoncentrationer. Där kan det uppstå belastningsnivåer liknande de från koncentrerad belastning.

Ett statistiskt belastningstest utfördes på två vattenfyllda tankar av stål och aluminium med tjocklek och materialegenskaper i överensstämmelse med gällande kriterier (bl. a. tredjerotsformeln). Tanken av 4,4 mm mjukt kolstål utsattes för en kraft på 3 000 kN med en deformation på 250 mm innan den nådde brottgräns. Tanken av aluminium

hade samma geometriska form och en godstjocklek på 6,3 mm. Denna klarade 650 kN med en deformation på 120 mm innan brottgränsen nåddes. *Stål hade alltså en faktor 6 högre energiabsorptionskapacitet än aluminium.* Detta resultat ger inte stöd åt tredjerotsformeln för att bestämma ekvivalent godstjocklek för andra material än stål.

Det valdes ut 23 olyckor bland alla registrerade som omfattade utsläpp av farliga ämnen för att jämföra stål och aluminium som enligt konstruktionsregler ansågs ekvivalenta ur säkerhetssynpunkt. Med resultaten från Theseus som grund hävdas att om en 3 mm rostfri ståltank utnyttjats istället skulle tanken inte ha brustit i åtta av olycksfallen och troligen inte i ytterligare fem fall. *En 3 mm rostfri ståltank anses därför vara en säker tank för transport av klass 3 farligt gods på landsväg.*

Följande åtgärder för att förbättra tankkonstruktionen rekommenderas i Theseus:

1. Massan av det farliga godset inkluderas i godstjocklekformeln för att klara av olyckstillbud med lokala spänningar orsakade av aggressivt formade delar som träffar tanken

$$e = \text{maximum} \left\{ \frac{1273}{R_m}; \frac{0,063 \times m_T}{R_m} \right\}$$

där e är vägg tjocklek i mm, R är brottgränsen för tankmaterialet i N/mm^2 och m_T är totala massan av tankfordonet i kg.

2. Nya tankkonstruktioner bör utsättas för fallprovning, som ger en energitillförsel motsvarande energin tillförd i krock- och välttest.
3. Vid konstruktion av nya domlock bör dessa utsättas för krafter på 30 g och tryckbelastningar på 3 bar under minst 30 ms, vilket är de värden som anses föreligga i verkliga olyckor.

Härtill kan kommenteras att förslaget till ny ekvivalensformel för godstjocklek inte är väl underbyggt, och att fallprovning på tankar knappast är realistiskt mot bakgrund av resurs- och kostnadsomfattningen och att noggrann hållfasthetsberäkning ändå genomförs. Att domlocken bör klara 3 bar i (kvasi-)statisk belastning är dock väl belagt.

Skadefaktorer

Det är ett stort antal faktorer som karakteriserar transporten och har betydelse för uppkomsten eller utvecklingen av en skada. Tabell 5 visar sådana faktorer, delvis hämtade från beskrivna skador ovan, och kategoriserade efter vad som är fordons- respektive godsspecifikt.

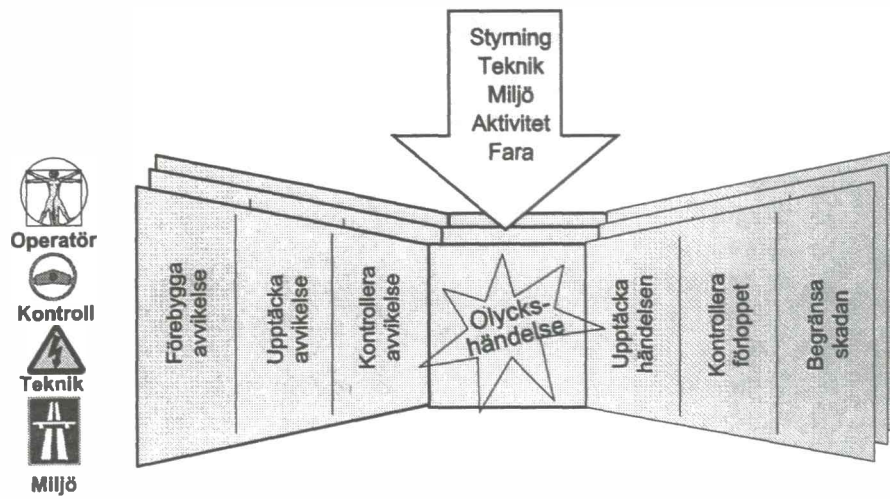
Tabell 5. Skadefaktorer vid tanktransport av farligt gods.

Fordonet	
Konstruktion	Trafik
Tank enligt regler	Hastighet
Väggdjocklek	Trafikregler
Utmattningsdimensionering	Parkering
Svetsar, infästningar	
Domlock	Underhåll, tillsyn
Förstyvningar	Underhållsrutiner
Spänningskoncentrationer	Tillsyn före körning
	Besiktningintervall
Utrustning	
Varningsskyltar	Olycksberedskap
Transportkort	Varningstrianglar, skyltar
Ventiler	Brandsläckare
Elektrisk utrustning	Kommunikation, radio, telefon
Skydd för utrustning	Handlingsplan för olyckor
Framförande	Personlig skyddsutrustning
Transportväg	Dokumentation
Vägval	
Vägen	
Vägens karaktär	Väglag
Vägvalsstyrning	Sikt
Godshantering	
Godset	För hög fyllnadsgrad – sprängning
Kompatibilitet med tankmaterialet	För låg fyllnadsgrad – skvalp
Brandfarliga ämnen, självantändande	
Gaser och andra ämnen som utvecklar gas	Lastningen
Giftiga ämnen	Ventiler, domlock, tätningar
Kontaminerat gods	Lastsäkring
För hög densitet, bruttovikt	Separation
För högt tryck	Spill av kemikalier
	Nivåkontroll
	Lastning under för högt tryck
	Pumpar

Händelsekedjor

För nästan samtliga olyckor ligger en kedja av händelser till grund. Karakteristiskt är att en sådan kedja startar med en avvikelse från det normala eller önskvärda. Utvecklingen kan sedan i samverkan med andra faktorer och följdhändelser fortgå tills en kritisk olycka är ett faktum. Olyckan ger upphov till konsekvenser, som på motsvarande sätt är betingade av ett antal händelser. Under förloppet överskrids olika barriärer där med lämpliga insatser händelseutvecklingen kunnat hejdas eller förändrats i en gynnsammare riktning.

Principen åskådliggörs i figur 4 nedan.



Figur 4. Faktorer, händelseutveckling och kontrollbarriärer i en olycksituation.

I riskanalysmetodik kan utvecklingen före olyckan behandlas i ett så kallat felträd och efter olyckan i ett händelsetråd.

Analys av skadefaktorer

Systematisk skadeanalys

Skadeanalys kan systematiseras på samma sätt som riskanalys – skillnaden är att skadeanalysen syftar till att utreda ett förflutet faktiskt händelseförlopp, medan riskanalysen skall beakta ett framtida möjligt händelseförlopp.

Följande element kan ingå i skadeanalysen.

- Beskrivning av verksamheten
- Identifiering av riskfaktorer
- Identifiering av avgörande olyckshändelse
- Teknisk utredning av själva skadan
- Frekvens- och sannolikhetsbedömning

Ett sätt att karakterisera utvecklingen av en skada är genom ett felträd, vilket visar de händelser som leder fram till den betraktade skadan, och ett händelseträd, som visar vilka konsekvenser den betraktade skadan kan få. Analysen av skadan kan då följa motsvarande sekvenser, där vid behov olika sannolikheter kan kvantifieras.

Många källor anger den mänskliga faktorn som huvudorsak till olyckor och skador i upp till 70 – 90 % av fallen. Det är därför befogat att bringa systematik även i frågan om sådana fel.

Tanken

Tankens konstruktion och funktion är av största betydelse för säkerheten. Faktorer och felaktigheter som kan vara avgörande för skadebilden är sammanställda i tabell 6.

Tabell 6. Funktionsproblem och riskfaktorer för tanken.

Konstruktion

Material olämpligt	Svetsar, infästningar ej fackmässiga
Vägg tjocklek otillräcklig	Skvalpskott saknas
Tvårsnittsförm	Domlock, veka, svårtätade
Provtryckning, fel tryck, feltolkat resultat	Förstyvningar, spänningskoncentrationer
Förstärkning för lägre vägg-tjocklek	Skjuvspänningar pga. vridning
Utmattningsrisk	Korrosion
	Vältskydd

Utrustning

Varningsskyltar	Isoleringsfel
Transportkort fel, saknas	Slangar, rör, kopplingar
Ventiler feldimensionerade	Påkörningsskydd
Elektrisk utrustning ej jordad	

Underhåll, tillsyn

Bristande underhåll	Ventiler igensatta, felställda eller defekta
Tillsyn före körning	Besiktningintervall överskridna
Värme, gnistor vid arbete	Defekta tätningar

Konstruktion

Spänningskoncentrationer

Spänningar i tanken och dess utrustning kan bli onödigt stora om konstruktionen är olämplig. Kälar, skarpa kanter och övergångar kan ge såväl direkta brott som utmattningssprickor på grund av de spänningskoncentrationer som uppstår. Ett exempel är förstyvningar i tanken. Vid dimensionering får iaktas att inte onödigt stora böjmoment uppträder i plåten, och att framför allt vid utmattningsrisk att ytans utseende, plåtens dimensioner och kälkänslighetsfaktorer beaktas.

Vridstyvhet

Om tanken har liten motståndsförmåga mot vridning uppstår skjuvspänningar i den, vilka kan leda till brott eller utmattning. Utsatta partier är i så fall infästningsregionerna och svetsar mellan dessa.

Utmattningsrisk

ADR och tillämpliga standarder innehåller inte anvisningar för dimensionering mot utmattning, trots att det är en ofta förekommande skadetyp på särskilt aluminiumtankar. De belastningsväxlingar som ger upphov till utmattning härstammar ofta från fordonets rörelse, vilken i sin tur är betingad av vägens egenskaper och i viss mån fordonets egna svängningskaraktäristika.

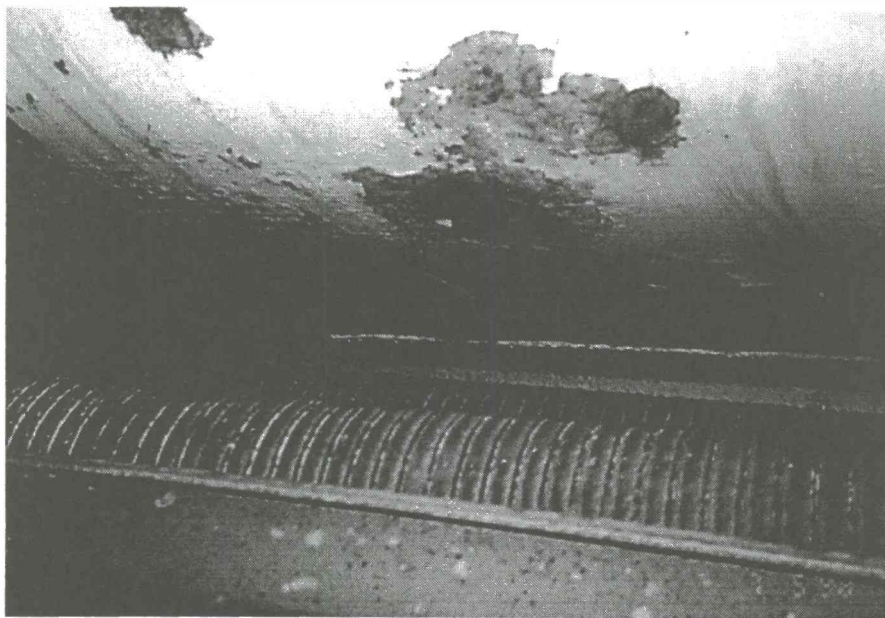
I undersökningar av utmattningsskador hos tankfordon (1312 st) orsakade av växlande dynamiska belastningar [8], har framkommit att

- Den främsta orsaken till sprickbildning är konditionen på vägarna. I norra Sverige där tjälskador är vanligare, slits tankfordon mer än i södra Sverige.
- Livslängden på fordonet (både chassi och tank) styrs i första hand av fjädringstyp.
- Fordonsramens styvhet har också stor betydelse för livslängden. En vek ram fortplantar vridningar till tanken. En styv ram medför ett tungt fordon. Konstruktionsmässigt kompromissar man för att få fordonet så lätt som möjligt samtidigt som lastkapaciteten maximeras.
- Stor betydelse för tankens belastningsförmåga har tankmaterial och konstruktionsgeometri. Höga spänningar skapas exempelvis av skarpa kanter och hörn.
- Föraren påverkar också tankens livslängd både genom kändedom om bästa lastfördelning och körstil.

Kemikaliefordon utgjorde 6 % av de undersökta fordonen. Dess tankar tillverkas nästan uteslutande i syrafast stål. Inga utmattningsskador har upptäckts i undersökningen. Stålets höga seghet och goda brottförlängningsvärden ger utmärkta resultat.

Gasfordon (3 % av fordonen) uppvisar heller inga utmattningsskador. Tankarna är tillverkade i höghållfast finkornsstål med 10 – 15 mm godstjocklek, vilket motstår utmattning.

Slamsugarna (5 %) uppvisar utmattningsskador i 15 % av tankarna. Detta beror främst på belastningsväxlingar vid vacuum respektive trycksättning av tanken. I första hand är det skotten som tagit skada.



Figur 5. Området vid tankens infästning är ofta utsatt för utmattnings- och korrosionsskador.

Petroleumfordon (86 %) uppvisade den största skadefrekvensen. Drygt 6 % av petroleumfordonen var tillverkade av kolstål. De transporterar ofta bitumenprodukter vid 150 °C och är därför isolerade. Skador på upplag kunde därför inte undersökas ingående. Där- emot uppvisade 35 % av dessa fordon sprickor på tankens skott. Värdet får ställas i förhållande till den krävande miljö tanken utsätts för.

Övriga petroleumfordon (81 %) var tillverkade av aluminium. 19 % av dessa uppvisade sprickor på upplag och 27 % på skott.

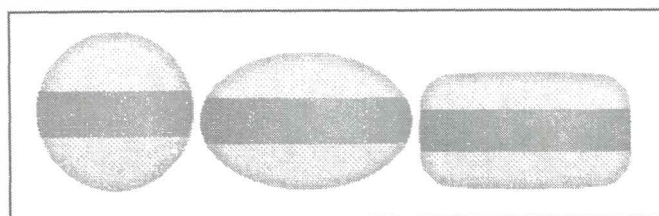
Slutsatsen är att sprickor i tankar tillverkade av aluminium är vanli- ga. Sprickorna uppkommer främst i mellanväggar, skvalpskott och upplag. Tankar tillverkade av syrafast stål och finkornigt kolstål har sällan skador.

I en serie rapporter har SAQ och SP utrett villkor för reducering av utmattningsrisken [9, 10].

Tvärsnittsform

Tvärsnittsformen kan variera från cirkulär till elliptisk och koffert- formad. Den så kallade koffertformade tanken har vad som nu lanse- ras som "polycentriskt" tvärnitt, det vill säga en i princip rektangu- lär form, men med rundade sidor och hörn.

Den cirkulära formen är från tryckhållfasthetssynpunkt optimal. Ofta har tanken dock elliptisk form, vilket har fördelen att ge något lägre tyngdpunkt för en given volym. Koffertformen ger ytterligare volym på ett visst tvärnittsutrymme. Det är i huvudsak aluminiumtankar för brandfarliga vätskor som uppvisar dessa icke-cirkulära tvärnitt.



Figur 6. Cirkulärt, elliptiskt och koffertformat tvärnitt

Tankens utformning och placering avgör också tyngdpunktens läge i fordonet. Det är rimligt att anta att en lägre tyngdpunkt ger bättre stabilitet och mindre vältningsrisk. I Theseusrapporten sägs dock motsägelsefullt att en sänkning av tyngdpunkten inte ger någon på- visbar förbättring av stabiliteten, eftersom lasten ökas i motsvarande grad, samtidigt som en mycket gynnsam kostnads-nyttanalys för åtgärden redovisas.

Väggjocklek

Beräkningsprincip

Tankar dimensioneras i första hand för ett visst tryck p , enligt den vedertagna tryckkärlsformeln:

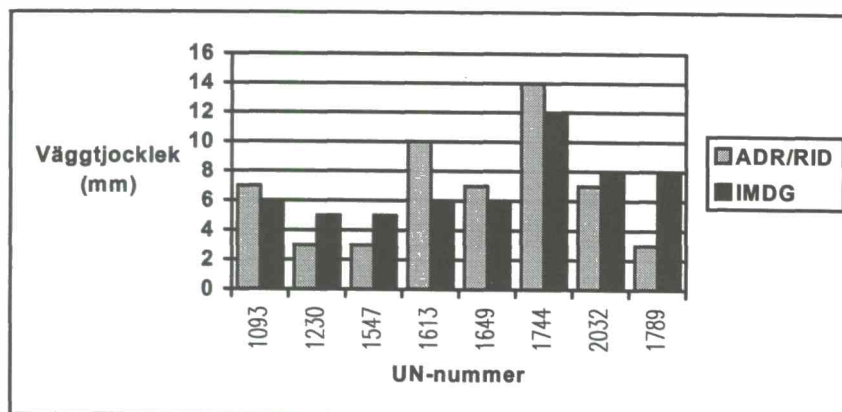
$$e = \frac{pD}{2\sigma\lambda}$$

där e är väggjocklek i den cylindriska manteln, D är diametern, σ är tillåten spänning och λ är svetsfaktorn.

Emellertid varierar olika regelverk och konstruktionsanvisningar i fråga om vilket tryck som avses, vilken tillåten spänning som avses och även tolkning av svetsfaktorn. Trycket p kan därför vara baserat på ångtrycket hos innehållet vid en viss referenstemperatur, på maximalt tillåtet arbetstryck, eller som i ADR på ett fiktivt kalkyltryck som representerar någon sorts säkerhetsmarginal.

Tillåten spänning kan vara sträckgränsspänningen eller en viss bråkdel av brottgränsspänningen.

Svetsfaktorn kan variera mellan 0,5 och 1 beroende på konstruktionskod och omständigheter.



Figur 7. Väggjocklek för några ämnen enligt ADR/RID respektive IMDG-koden (från [11]).

Oavsett beräkningsresultat har det satts en minsta väggjocklek för att reducera punkteringsrisken för mycket tunnväggiga tankar, t ex 5 mm i ordinärt kolstål. För andra material bestäms minsta väggjocklek gentemot denna siffra med hjälp av den omdiskuterade ekvivalensformeln, se nedan.

Genom att olika regelverk har olika tolkning av ingående faktorer kommer väggjockleken hos tankar för samma ändamål att variera, ibland kraftigt, exempelvis enligt figur 7.

Föreskriven minimiväggjocklek

ADR anger följande minimivärden för mantel, gavlar och luckor av så kallat mjukt kolstål, det vill säga stål med brottgräns inom intervallet 360 – 440 N/mm².

- Tankar och tankcontainrar med diameter högst 1,80 m: 5 mm.
- Tankar och tankcontainrar med diameter mer än 1,80 m, dock ej för pulverformade eller granulerade ämnen: 6 mm.
- Tankar och tankcontainrar med diameter högst 1,80 m och extra skydd mot sidopåkänningar och vältning: 3 mm.
- Tankar och tankcontainrar med diameter mer än 1,80 m och extra skydd mot sidopåkänningar och vältning: 4 mm.

Förslag kommer nu att läggas till ECE WP 15 att minimiväggjocklek anges även för övriga stål och aluminium enligt följande:

- Tankar och tankcontainrar med diameter högst 1,80 m och extra skydd mot sidopåkänningar och vältning: stål 2,5 mm, aluminium 4 mm.
- Tankar och tankcontainrar med diameter mer än 1,80 m och extra skydd mot sidopåkänningar och vältning: stål 3 mm, aluminium 5 mm.

Beräkning av ekvivalent väggjocklek

Ekvivalent väggjocklek är ett begrepp som används då kalkyltrycket i tanken inte är dimensionerande, utan minimitjockleken enligt ADR är tillämplig. I ADR anges en formel för beräkning av den ekvivalenta minimiväggjockleken för annat material än referensstålet enligt ovan:

$$e_1 = e_0 \frac{\sqrt[3]{R_{m0} \times A_0}}{\sqrt[3]{R_{m1} \times A_1}}$$

i vilken R_m betecknar brottgränsen, det vill säga den maximala spänning i materialet som uppmäts (i N/mm²) strax före brott vid dragprovning, och A är brottöjningen i procent.

Formeln kan härledas ur antagandet att deformationsenergin som erfordras fram till brott skall vara lika för både det aktuella materialet och referensstålet.

$$W = \int F ds$$

där F är kraften på ett ytelement och s är den sträcka detta förskjuts (i kraftens riktning) relativt det odeformerade tillståndet.

Uttryckt i spänning σ är kraften på ytelementet Y:

$$F = \int \sigma dY$$

Töjningen ϵ uttrycks vid stora deformationer som logaritmisk töjning med ursprunglig längd L_0 och ny längd L:

$$\epsilon = \ln \frac{L}{L_0} \quad \text{varav} \quad d\epsilon = \frac{dL}{L} \quad \text{eller} \quad ds = dL = Ld\epsilon$$

Härav blir deformationsenergin

$$W = \iint \sigma L dY d\epsilon$$

Om nu det betraktade elementet väljes kubformigt och tillräckligt litet för att spänningen skall kunna antas konstant över dels tvärsnittet Y, dels mätlängden L, och vi dessutom antar idealplastiskt material (spännings-töjningssamband enligt diagrammet här intill) så att spänningen är konstant lika med R_m under hela deformationsförloppet får vi

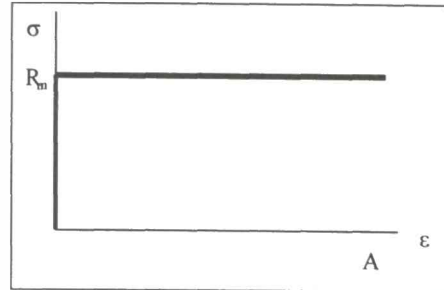


Fig. 8. Spännings-töjningssamband för idealplastisk materialmodell.

$$W = R_m L^3 \epsilon = R_m L^3 A$$

Det tillräckligt lilla måttet L kan vara lika med vägg tjockleken e (vid full plasticering av väggen är spänningen konstant lika med R_m lokalt tvärs över hela väggen), således:

$$W = R_m e^3 A$$

För att deformationsenergin skall vara lika i vägg "0" och vägg "1" blir därför:

$$W_1 = W_0 = R_{m1} e_1^3 A_1 = R_{m0} e_0^3 A_0$$

och

$$e_1 = e_0 \frac{\sqrt[3]{R_{m0} \times A_0}}{\sqrt[3]{R_{m1} \times A_1}}$$

Analys av ekvivalensformler enligt Theseus

I det tyska Theseusprojektet ifrågasätts den etablerade ekvivalensformeln med motiveringen att den inte kan härledas fysikaliskt. Det betyder i så fall att antagandena i ovanstående härledning inte accepteras. Det bör medges att antagandet om en idealplastisk zon heller inte är helt realistiskt eftersom olika grad av deformationshårdnande förekommer.

Ett av förslagen i Theseusrapporten är en modifierad tredjerotsekvivalensformel:

$$e_1 = e_0 \frac{\sqrt[3]{(R_{m0} \times A_0)^2}}{\sqrt[3]{(R_{m1} \times A_1)^2}}$$

Härledningen följer ovanstående mönster, men i stället för kontroll-elementet $e \times e \times e$ används hela mätlängden på en dragprovstav $e \times b \times L$. Det elementet är för stort för att konstanta spännings- och töjningsförhållanden skall råda i det plastiska området. Plasticering börjar genom att sträckgränsen uppnås i ett tvärsnitt där man strax får en areaminskning, så kallad necking, och det följande förloppet ger således ingen homogen fördelning av spänning och töjning.

Förstärkning

Enligt ADR kan minimivägg tjockleken reduceras om det tanken är skyddad mot påkänningar från sidan eller genom vältning. Angivna sådana skydd är förstärkning i form av fackväggar, skvalpskott och utvändiga eller invändiga ringar. Dubbelväggiga tankar, vakuumisolerade eller med ett mellanliggande fast skikt, liksom tankar med en extra plåt fastsatt runt tanken på halva höjden anges också som möjliga skyddsåtgärder i detta avseende.

Ofta rapporterade problem med dessa skydd är att de förstyrkar konstruktionen lokalt så att höga spänningskoncentrationer uppstår, vilka kan leda till brott.

Material

Om materialet kan misstänkas korrodera skall korrosionsmån adderas till den framräknade vägg tjockleken. Den baseras på förväntad livslängd hos tanken och data om korrosionshastigheten för aktuellt material i kontakt med aktuellt ämne. Sådana tabeller finns publicerade, men bör kombineras med erfarenhetsdata för tanktypen i fråga. I praktiken tillämpas emellertid sällan principen om korrosionsmån.

De material som används i så gott som alla tankar är stål och aluminium. En mindre andel tillverkas av plast, i synnerhet glasfiberarmad polyester. Faktorer som avgör materialvalet är sträckgräns, brottgräns, utmattningsgräns, brotttöjning, hårdhet och brottseghet, formbarhet, tillgänglighet, temperaturförhållanden, vikt, pris och kompatibilitet.

Tabell 7. Egenskaper hos konstruktionsmaterial vanliga i transporttankar.

Material	Sträckgräns (MPa)	Brottgräns (MPa)	Brottförlängning (%)	Slagseghet (Joule)
Aluminiumlegering AlMg4.5Mn	125	175	17	20
Kolstål SS 1432-01	260	430	24	27
Finkornstål OX 520 DM	350	510	22	40
Rostfritt syrafast stål SS 2343-28	250	510	40	-

Brottgräns

Brottgränsen är den högsta spänning som uppmäts i ett dragprov. Brottförlängningen är den kvarstående förlängningen av provmaterialet efter brott.

Sträckgräns

Sträckgränsen är den spänning ovanför vilken materialet plasticeras. För material utan tydlig sträckgräns, exempelvis vissa austenitiska stål används i stället den så kallade förlängningsgränsen vid 0,2 eller 1,0 % töjning.

Svetsbarhet

I enstaka fall orsakar svetsar problem, i regel för att de inte är fackmässigt utförda. Det kan vara så att den valda metoden är olämplig för materialet i fråga, att hållfastheten i den värmepåverkade zonen blir alltför mycket nedsatt eller att svetsarna inte är fullständigt utfyllda utan blir säte för spänningskoncentrationer eller korrosion.

Rostfritt stål är i regel lätt att svetsa. Det är viktigt att fixera materialet så att värmeutvidgningen hålls under kontroll, särskilt som värmeledningsförmågan är mycket lägre än i kolstål. Man bör också se till att oxider från svetsningen inte blir kvar och orsakar korrosion.

Aluminiumlegeringar har mestadels god svetsbarhet. Oxidskiktet måste tas bort och förhindras att återbildas genom användning av inert skyddsgas.

Utrustning

Slangar, rör, kopplingar, tätningar

Ett oavsiktligt utflöde av farliga ämnen sker i regel genom brott i tankmaterialet eller i materialet i en ledning, ventil, slang eller liknande. Det kan också ske genom att tätningar är otillräckliga, därför att materialet i dessa eller i anliggande ytor uppvisar brott, förhårdning, avnötning eller på annat sätt fel dimensioner. Underlåtenhet att stänga lock eller ventiler är en tredje kategori.

Det skall finnas skydd för utrustningen så att den så långt möjligt inte skadas av att tanken utsätts för påkänningar. Detta skydd kan vara mer eller mindre effektivt.

Skydd bak på fordon

En stötfångare med tillräcklig motståndskraft mot stötar bakifrån, som täcker tankens hela bredd, skall monteras bak på fordonet. Mellan tankens bakre vägg och stötfångarens bakre del skall det finnas ett utrymme på minst 100 mm. Detta mellanrum mäts från tankväggens bakersta punkt eller från utskjutande tillbehör i kontakt med det transporterade farliga ämnet.

Observera att underkörningsskydd dessutom krävs enligt Vägverkets bestämmelser och EG-direktiv för alla lastfordon.

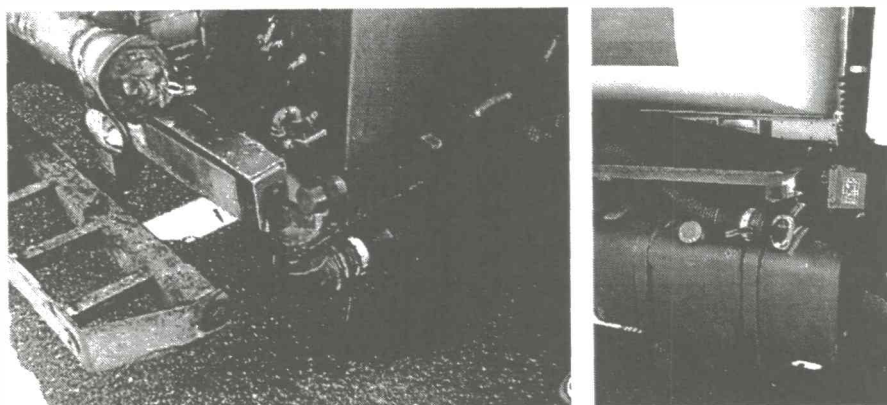


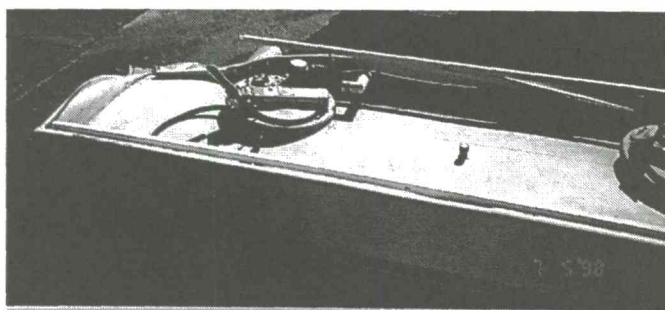
Fig. 9. Rör, ventiler och slangar är utsatta detaljer, där läckage, brott, kontaminering och antändning kan inträffa.

Rullningsskydd

Skulle tanken välta blir utrustningsdetaljer av olika slag, oskyddat monterade på tanken, utsatta för svåra påkänningar. Ett effektivt skydd för utrustning måste således finnas. Ett rullningsskydd genomtänkt utfört kan även skydda själva tanken mot koncentrerade belastningar. ADR ger som förslag förstärkningsbågar, skyddshuvar och tvärs- eller längsgående förstärkningar.

Domlock

Som refereras ovan är manluckan (domlocket) ett kritiskt ställe på tanken. Cirka 75 % av skador med läckage av farligt gods beror på att tanken välts, och i cirka hälften av dessa fall läcker domlocket. Problemen med öppnade eller avslagna domlock accentueras av att flödet blir relativt stort och därmed utgör en större risk för personer, materiel och miljö i omgivningen. Vanligast är dock att domlocket läcker utan att helt öppnas, och läckaget är begränsat.



Figur 10. För veka luckor och låsanordningar och otillräckligt utrustningsskydd orsakar mycket läckage

I rapporten [7] redovisas tryckmätningar utförda under vältning av tanken. Trycket visar sig uppgå till storleksordningen 1,7 – 3 bar vid islaget. Detta stämmer överens med liknande mätningar utförda i THESEUS-projektet [2], där tryckstötter upp till 3 bar har redovisats.

Ett förslag är ett fjädrande tanklock som i islagsögonblicket släpper ut en liten kvantitet vätska för att i nästa ögonblick stängas av det momentana undertrycket i tanken.

Om fyllning ovanifrån inte förekommer kan domlocket ersättas av en bultad manlucka, vilket i så fall reducerar den annars relativt stora risken att domlocket öppnas vid olyckor då tanken välter.

Detta är som visas nedan en mycket vanlig orsak till att farligt gods läcker ut. Vad som behövs är enligt utredning såväl i USA [7] som Tyskland [2] en stabilare konstruktion, som motstår ett tryck av ca 3 bar. Theseusrapporten anger läckande domlock som den vanligaste orsaken till utsläpp av farliga ämnen från tankbilar och den näst van-

ligaste för släpvagnar. Det är vanligare att locken läcker än att de slås upp. Utflöden på mer än 1000 liter genom läckande domlock är sällsynta.

Extra skydd för tanken

Om en tank är försedd med något slag av extra skydd kan vägg-tjockleken i vissa fall reduceras. Sådana skydd kan dock vara mer eller mindre effektiva. Vanligast är någon form av rullningsskydd. Den i Tyskland förordade ”maggördeln”, ett band längs tankens sidor, förekommer där på 82 % av tankarna. Extra isolering eller inklädnad, som primärt är till för transport av vissa ämnen betraktas också ofta som extra skydd för tanken. På samma sätt kan slangskåp och liknande ibland godkännas som extra skydd.

Underhåll

Löpande underhåll av materielen är väsentligt för en säker transport. Där ingår kontroll av fordonet – framför allt hjul, lager, däck, bromsar, hjulupphängning, belysning och utrustning – och av tanken. Ansatser till korrosion, utmattningssprickor, angripna svetsar, lossnade infästningar, fastnade säkerhetsventiler, läckande rörskarvar och ventiler, nötningskador, åldrade tätningselement, otäta domlock med mera måste identifieras och åtgärdas inom ramen för en fungerande underhållsverksamhet.

De flesta läckagen på tankar är att hänföra till bristande underhåll eller vårdslös hantering snarare än till trafikolyckor. Enligt Räddningsverkets statistik för 1997 [12] noterades 98 utsläpp större än 50 liter vid lastning eller lossning och 97 under transport. Av utsläpp över 500 liter skedde 17 stycken under transport medan 20 skedde vid lastning eller lossning och 68 under lagring eller andra omständigheter.

Fordonet

Fordonets konstruktion och funktion är avgörande. Många olyckor med farligt gods är egentligen trafikolyckor, där i vissa fall konsekvenserna förvärras av det farliga godset, medan i andra fall några farligt-godsrelaterade händelser inte inträffar. Faktorer och felaktigheter som kan vara avgörande för skadebilden är sammanställda i tabell 8.

Tabell 8. Funktionsproblem och riskfaktorer för fordonet.

Konstruktion	
Stabilitet, tyngdpunktsläge Placering av bränsletank	Placering av avgassystem
Utrustning	
Varningsskyltar Elektrisk utrustning ej jordad Påkörningsskydd saknas	Isoleringsfel Slangar, rör, kopplingar
Underhåll, tillsyn	
Bristande underhåll Tillsyn före körning Värme, gnistor från varmgång i lager	Defekt elsystem Besiktningintervall överskridna Defekta bromsar Slitna däck

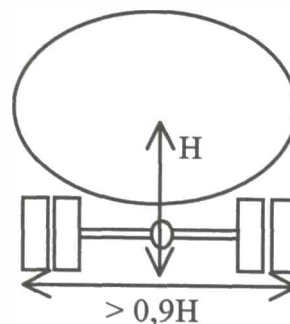
Stabilitet, tyngdpunktsläge

Såväl statisk som dynamisk stabilitet är väsentlig för att reducera risken för sladdning, avkörning och vältnings. I ADR föreskrivs att stödytans bredd skall vara minst 90 % av tyngdpunktshöjden hos det lastade fordonet. Ju större förhållande mellan tyngdpunktshöjd och stödbredd, desto större är risken för vältnings vid körning över en slänt eller med hög fart i en kurva. Även hjulupp-hängning och fyllnadsgrad påverkar stabiliteten.

Det finns också ett villkor att axelvikten hos en påhängsvagn inte får överstiga 60 % av hela transportenhetens vikt. Man vill undvika den sortens dynamiska instabilitet som gör att påhängsvagnen svänger fram och tillbaka i sidled ("wobbling").

Som visats i Theseusprojektets analys utgör en sänkning av tyngdpunkten den från kostnads-nyttosynpunkt effektivaste åtgärden för olycksreduktion. I övrigt ger Theseusprojektet följande resultat om tankfordons stabilitet.

Dagens tankfordon lastade till maximal tyngdpunkt har en tillåten lutningsvinkel på 19 – 26 grader innan ett hjul lyfts. Detta motsvarar



Figur 11. Tyngdpunktshöjden gentemot fordonsbredden är avgörande för stabiliteten

en transversell acceleration på 0,34 till 0,49 g. Tankformen (koffertformad eller cylindrisk) ger inga väsentliga skillnader i lutningsgräns för olika laterala förskjutningar av vätska i tanken. Det är däremot stor skillnad mellan tomt och fullastat fordon.

Snabba undanmanövrar påverkar körriktningens stabiliteten menligt, men vätskerörelsen ger ingen effekt på lutningsgränsen eftersom rörelsen bara är kortvarig och tankfordonet har ett stort tröghetsmoment. Installation av långsgående skvalpskott är därför inte effektivt för att undvika vältningsolyckor.

25 grader föreslås som *gränsvärde* på hur stor *lutning* ett tankfordon skall klara under alla typer av lastningsförhållanden. De mest ogynnsamma lastsätten är i första hand när fordonet är lastat nära maximal tillåten vikt och i andra hand när fordonet är framtungt.

Nyare tankbilar med sänkt tyngdpunkt ger inte den förbättring i vältningsstabilitet som förväntats. Konventionella fordon ger nästan samma värden. Anledningen är att tyngdpunktssänkningen har kombinerats med viktreduktion i chassi så att större laster är möjliga. Detta pekar på betydelsen av att *ta hänsyn till lasten vid utvärdering av vältningsstabilitet*.

Bland fordonen med sänkt tyngdpunkt har semitrailern högre vältningsstabilitet. Fordon med sänkt tyngdpunkt ger bättre girdämpning och/eller svajstabilitet vilket leder till högre riktningens stabilitet.

Till dessa slutsatser från Theseus kan kommenteras att tyngdpunkts-höjden i relation till stödytans bredd har mest intresse från farligt-godssynpunkt då fordonet är lastat. Theseus slutsatser behöver ytterligare klarläggande.

Emellertid pågår arbete i kommittén för ADR, WP 15, att implementera ett förslag som ursprungligen lagts i ECEs fordonskommitté, WP 29 [13]. Enligt förslaget skall ett tankfordon genom ett test på lutande plan eller genom beräkning visas ha tillräcklig stabilitet, det vill säga klara (förslagsvis) 23 graders lutning, respektive (förslagsvis) en sidledes acceleration på 4 m/s^2 (0,4 g).

Bromsar

Undermåliga bromsar är en inte ovanlig orsak till olyckor (cirka 3 %). Den ovan nämnda tankbilskatastrofen i Herborn berodde till stor del på att bromsarna inte höll måttet, utan bilen skenade i ett nedförslut. Efter den händelsen infördes på tyskt initiativ en regel om tillsatsbromsar i ADR. Tillsatsbromssystemet är avsett att stabilisera fordonshastigheten under en lång utförslöpa utan att använda färd-, nöd- eller parkeringsbromssystemet.

Tillsatsbromssystemet är ett krav utöver vad som gäller för alla lastfordon om bromsutrustning och låsningsfria bromsar enligt ECEs reglementen och EGs direktiv.

En iakttagelse som gjorts är att tillsatsbromsen utnyttjas i stället för ordinarie bromssystem. Eftersom den verkar enbart på dragfordonet medför det bristande kontroll över släpvagnen och kan leda till skador av typen knäckta dragstänger.

Hastighet

Det är väl känt att hög hastighet är nyckelorsaken till trafikolyckor. Den inverkar menligt på bromssträcka, stabilitet, kurvtagningsförmåga och reaktionsförmåga och förvärrar konsekvenserna av en olycka.

Däck

Tekniska fel som orsak till olyckor uppträder i 5 – 6 % av fallen. Näst efter bromsarna är på dragfordon däcken den vanligaste kategorin. Slitna och olämpliga däck innebär sämre väggrepp och risk för punktering.

På/underkörningsskydd

Underkörningsskydd, som förhindrar att mindre fordon kan komma in under tanken och klämmas fast, är ett krav enligt trafiksäkerhetsföreskrifterna. Därutöver erfordras enligt ADR ett påkörningsskydd, som skyddar tanken mot påkörning bakifrån av större fordon. Se avsnittet om skydd bak på fordon ovan.

Vägen

Vägens beskaffenhet har betydelse, men är sällan ensam orsak till en olyckshändelse. Trafikolyckor sker ofta då körsätt och hastighet inte anpassats till förutsättningarna. En undersökning från Vägverket [14] ger en bakgrund till vägrelaterade faktorerers inverkan. Sådana faktorer som kan vara avgörande för skadebilden är sammanställda i tabell 9. Det kan noteras att Vägverkets rapport endast ger absoluta tal och inte gör något försök att relatera olycksfrekvensen till frekvensen av de olika faktorerna vilket begränsar möjligheten att dra slutsatser om den faktiska inverkan av dessa.

Tabell 9. Funktionsproblem och riskfaktorer för vägen.

Kurvig, smal, gropig	Dimma, mörker
Nära känsliga punkter	Köld
Rondeller	Värme
Korsningar	Brand
Halka	

Förbättringar av vägstandarden medför ofta att hastigheten och trafikmängden stiger och några säkerhetsvinster därför inte går att urskilja. I Vägverkets studie framträder två huvudsakliga typer av olyckor, avåkning i kurva och singelolyckor med okänd anledning.

Bredd

Ökad vägbredd medger viss marginal för felmanövrer men också högre hastighet. Det är osäkert om vägbredden har substantiell säkerhetspåverkan, så länge den inte medger separerade körbanor.

Sikt

Mörker, nederbörd och dimma är försvårande omständigheter vid körning. Merparten av de olyckor som redovisats i Vägverkets rapport har skett i dagsljus (37 stycken av 46). Det är dock känt från andra undersökningar att dålig belysning i kombination med hög hastighet orsakar många trafikolyckor.

Kurvdosering

Feldosering av kurvor ökar risken för avåkning genom att doseringen samverkar med centrifugalkraften för att dra fordonet av vägen. Hastighetsanpassning blir därför avgörande.

Enligt Theseusrapporten sker 34 % av olyckorna (50 % av singelolyckorna) i kurvor.

Korsning

Korsningar innebär en konfliktrisk med andra fordon, och påkörning från sidan kan bli följd. Frekvensen av korsningsrelaterade olyckor är dock liten (8 % enligt Theseusrapporten). Rondeller har efter några avkörningsolyckor under tidigare år antagits vara olycksorsakande, men enligt Vägverkets studie har under 1995 – 96 inga olyckor med farligt gods skett i rondeller eller i korsningar.

Väggkant, slänt

Svaga väggkanter kan utgöra en orsak till att fordonet kommer ur kurs eller välter. Flackare slänter minskar risken för skador på tanken som leder till läckage.

Objekt vid väggkanten

Hårda, kantiga objekt, som vägtrummor, vägräcken, lyktstolpar, stenar och träd ger lätt skador på tanken då fordonet välter eller vid påkörning.

Körbana

Körbanans beskaffenhet har betydelse för fordonets broms- och styrförmåga genom olika friktionsegenskaper. Löst grus kan göra att fordonet får sladd och i värsta fall går av vägen. Ojämn vägbana ger vibrationer som överförs till tanken och som på sikt kan ge utmattningsskador.

Halka

Halka är en vanlig orsak till trafikolyckor. Halkbekämpning genom snöröjning, sandning och på vissa ställen saltning är därför en prioriterad uppgift för väghållare. ABS-bromsar, ändamålsenliga däck och anpassat körsätt och hastighet är medel att motverka inflytandet av halt väglag.

Skyddsobjekt

Vägvalsstyrning är en metod som ibland tillämpas, där transporter av farligt gods begränsas till vissa vägsträckningar. Det går inte att se att detta har effekt på olycksfrekvensen, men kan vara verksamt för att begränsa konsekvenserna av ett utflöde av farligt gods. Genom att transportererna inte får gå förbi skyddsobjekt av typen vattentäcker, bostadsområden, daghem undantas dessa från risken för en farligt-godsolycka.

Trafiktäthet

Trafiktätheten har relativt litet inflytande på olycksfrekvensen. Enligt Vägverkets rapport skedde under 1995 – 96 två olyckor av 46 i tätort. Nära hälften av olyckorna är singelolyckor, vilka beror på att föraren förlorat kontrollen över fordonet genom att hålla för hög

hastighet eller att ha somnat. I situationer med högre trafikthet kan dessa i stället utvecklas till kollisionsolyckor med svårare följder.

Föraren

Mot bakgrund av sammanställningen ovan över felhandlande som orsak till olyckor är förarens roll väsentlig i en analys. Föraren influeras av ett stort antal faktorer där olika typer av gränssnittsproblem förekommer (jämför också tabell 9):

- Tidspress
- Egen kondition
- Transportledning
- Avsändare
- Mottagare
- Räddningstjänst
- Andra trafikanter
- Kontrollorgan
- Regelverk
- Vägen
- Fordonet

Theseusprojektet berör förarens roll mycket summariskt, i stället fokuseras på tekniska orsaker till att tankfordon välter och att farliga ämnen läcker ut. Emellertid anges statistik enligt vilken tankföraren helt eller delvis orsakar olyckan i 37 % av fallen av kollision fordon mot fordon och i 89 % av singelolyckorna. Hastigheten är ofta hög (medelhastighet vid kollision 49 km/h). En olyckstyp som möjligen är karakteristisk för Tyskland är påkörning bakifrån, vilket till en del förklaras av att fordonen framförs i konvojer på motorvägar och landsvägar. Det framhålls också att vältning av fordonet är en mycket vanligare olyckstyp för tankfordon (40 %) än för andra lastbilar (10 %), vilket bland annat leder till att tankbilsförare skadas i högre utsträckning än andra lastbilsförare.

Faktorer i framförandet av fordonet som kan påverka olycksfrekvensen visas i tabell 10.

Tabell 10. Problem och riskfaktorer för fordonets framförande.

Framförande	Olycksberedskap
Vägval olämpligt	Varningstrianglar, skyltar saknas
Ouppmärksamhet på trafik	Brandbekämpning, utrustning saknas, svårnådd
Andra fordon ej förutsägbara	Handlingsplan saknas
Hastighet ej anpassad	Personlig skyddsutrustning saknas
Trafikregler följs ej	Kommunikation, radio, telefon saknas
Felparkering	Evakuering svår
	Dokumentation fel, saknas

En mångfald faktorer kan ligga till grund för felaktigt handlande. Förutom föraren själv har transportledningen en väsentlig roll för att skapa förutsättningar för en säker transport. Ett antal sådana faktorer återfinns i tabell 11.

Tabell 11. Orsaker till felaktigt handlande.

Individuella faktorer	Organisation och ledning	Yttre omständigheter
Reducerad förmåga	Transportledning	Fysisk stress
Alkohol, droger	Informationsbrist	Buller, vibrationer
Sjukdom	Odisciplin	Åksjuka
Nedsatt syn, hörsel	Uppföljning saknas	Temperatur, klimat
Förvirring	Oklara instruktioner	Giftiga ämnen
Upprördhet	Felaktiga rutiner	
Kunskap saknas	Underhåll lågt	Arbetsbelastning
Erfarenhet saknas	Resursbrist	För hög belastning, stress
Övning saknas	Lasthanteringsrutiner saknas	För låg belastning, uttråkning
Språksvårigheter	Beredskap för olyckor saknas	Kunskapsbrist
Felbedömning		Konkurrerande arbetsuppgifter
Fortkörning		
Fysiologisk stress		Ergonomiska villkor
Sömnbrist		Fel körställning
Utmattning		Informationsbrist
Olämplig mathållning		Olämpliga verktyg
		Dålig belysning
		Råddig förarmiljö
Motivationsbrist		Miljöproblem
Prestige		Dålig sikt
Brist på hänsyn		Halka
Låg självdisciplin		Tät trafik
Integritet saknas		Hinder i körbanan
		Rök
Psykisk stress		
Konflikter		
Panik		
Tidsbrist		
Överkrav		
Arbetsotillfredsställelse		
Kommunikationsproblem		

Åtgärder mot brister i detta avseende kan vara att skapa kunskap och motivation och att träna upp ett risk- och säkerhetsmedvetande genom utbildning och information, motverka trötthet genom att göra rimliga körscheman och följa upp regler om körtider, och att tillämpa nolltolerans för alkohol och riskbeteende.

Godset

Att godset betecknas som farligt innebär att dess egenskaper på något sätt medför en fara för omgivningen. Lasten kan på olika sätt medverka till att en olycka uppstår och därefter leda till mer eller mindre svåra konsekvenser. Godsrelaterade faktorer som kan påverka förloppet återges i tabell 12.

Tabell 12. Problem och riskfaktorer avseende godstyp och godshantering.

Godshantering	
Godset	Lastningen
Inkompatibelt med tankmaterial	Ventiler felställda
Självantändning	Pumpar
Gasutveckling	Domlock otäta
Kontaminerat gods	Otillräcklig säkring
Reaktivt gods	Spill av kemikalier
För hög densitet, bruttovikt	Lastning under för högt tryck
För högt tryck - sprängning	Överfyllnad. Nivåkontroll mankerar
För lågt tryck - implosion	Dokumentation
För hög fyllnadsgrad – sprängning	Skyltar felaktiga eller saknas
För låg fyllnadsgrad - skvalp	Dokument felaktig eller saknas
	Dokumentation skadad, otillgänglig eller oläsbar

Överfyllnad

På grund av att vätska utvidgas vid uppvärmning måste ett expansionsutrymme finnas i tanken. Är detta för litet kommer i stället tanken att utvidgas tills att den brister. ADR reglerar detta genom att ange en högsta fyllningsgrad F vid 50°C för olika ämnen. Man får då vid fyllningstemperaturen t_F en högsta fyllningsgrad (procent av tankens volym):

$$f = \frac{F}{1 + \alpha(50 - t_F)}$$

med $F = 100$ för brandfarliga ämnen (ej giftiga eller frätande) med luftning eller säkerhetsventil, $F = 98$ för giftiga eller frätande ämnen med luftning med eller utan säkerhetsventil, $F = 97$ för brandfarliga, hälsofarliga eller svagt frätande ämnen i lufttäta tankar utan säkerhetsanordning, och $F = 95$ för mycket giftiga, giftiga, mycket frätande och frätande ämnen i lufttäta tankar utan säkerhetsanordning. Volymutvidgningskoefficienten α finns i handböcker.

Tryck

Tanken är dimensionerad för ett visst tryck, det så kallade maximalt tillåtna arbetstrycket. Detta skall inte förväxlas med det så kallade kalkyltrycket, som är ett schablonmässigt underlag för att beräkna väggjockleken med en viss säkerhetsfaktor. Arbetstrycket uppkommer antingen som det tryck som används vid fyllning eller tömning eller det tryck som utvecklas i tanken under transport och som sammansätts av vätskans ångtryck, vätskans statiska tryck och innesluten luftvolyms tryck. Trycket är temperaturberoende, med en komplex relation som beror på de ingående komponenternas partialtryck som funktion av temperaturen, utvidgningskoefficient hos vätskan, löslighetsparametrar och tankmaterialets utvidgningskoefficient.

Ett för högt tryck utan säkerhetsanordningar för tryckreducering medför skador av typen direkt brott på tanken, viss plasticering av materialet eller förhöjd utmattningsrisk.

För lågt tryck, vilket kan uppkomma vid avkylning då tryckutjämningsventiler saknas, kan göra att tanken trycks ihop och eventuellt brister.

Ett bibehållet tryck i tanken ger större motstånd mot intryckning och penetration än en tom tank med atmosfärstryck.

Densitet

Högre densitet ger högre vikt. Om tanken fylls med en vätska med högre densitet än avsett kan detta medföra stabilitetsproblem förutom att fordonets tillåtna totalvikt kan överskridas.

Låg fyllnad – skvalprisk

En alltför låg fyllningsgrad i tanken medger skvalp av vätska då fordonet är i rörelse. Sådant skvalp kan ge stora krafter på fordonet och göra att detta kommer ur kurs. Tankar för vätska skall därför enligt ADR vara fyllda till minst 80 % eller till högst 20 %, såvida de inte är indelade medelst skvalpskott eller mellanväggar i högst 7,5 m³ stora fack.

Egenskaper

Ämnets tillstånd

Om det transporterade godset är fast, flytande eller gasformigt har viss betydelse för olycksfrekvensen men framför allt för konsekven-

serna. En gastank har i regel kraftiga väggar, för att klara det höga trycket, och därmed högre motståndsförmåga mot punktering och upprivning. Om läckage ändå uppstår, till exempel i utrustningsdelen, kan konsekvenserna bli svåra på grund av gasens expansion, flyktighet och förmåga att spridas med vinden.

Även vätskor har en hög riskpotential för framkallande av olycka genom risken för skvalp och tanksprängning som beskrivits ovan och för konsekvenser genom sin lätttrörlighet som kan medföra stora läckage och ibland genom förmågan att lätt förångas (till exempel bensin).

Ofta kan en stor radie runt olycksplatsen utgöra primärt riskområde. Typiska sådana avstånd är för gasol 200 m (exemplet Los Alfaques-olyckan med 20 000 l läckage), bensin 150 m (exemplet Herborn-olyckan med 25 000 l läckage) och klor 400 m (exempel 1 000 l läckage).

Klassificering

Rätt klassificering av transportgodset är avgörande för bedömning av dess farliga egenskaper, val av tanktyp, fyllningsgrad, dokumentation och märkning. Sammantaget avgör klassificeringen många av de åtgärder som krävs såväl för att förebygga avvikelser som att begränsa skadeverkningar. Det faktiska innehållet i en läckande tank har naturligtvis stor betydelse för *konsekvenserna* av olyckan.

Information

För säkerhet i transport av farligt gods krävs att de olika aktörerna har kännedom om och vid behov kan tillämpa ett betydande informationskomplex. Däri ingår regelverken för transport av farligt gods, som av många uppfattas som svåröverskådliga och onödigt komplicerade, kompletterande anvisningar och standarder, samt dokumentationen i samband med varje enskild transport i form av godsdeklARATIONER, skriftliga instruktioner, avsändarintyg, besiktningsintyg med mera. Vid kontroller brukar man kunna konstatera felaktigheter i dokumentationen i cirka hälften av undersökta enheter. Den säkerhetsmässiga inverkan av detta har dock inte klarlagts.

Regelverken

Bestämmelser om tankar återfinns i huvudsak i följande avsnitt av regelverken:

ADR: Bilaga B/Del III/Bihang B.1 – Bestämmelser om tankar
RID: Del III/Bihang X och XI (cisternvagnar)
IMDG-koden: 13 – Portable tanks and road tank vehicles

Gemensamt är att reglerna stöder sig på att tanken skall vara konstruerad enligt en av behörig myndighet godkänd teknisk norm (ADR marg nr 211 120, 212 120, IMDG 13.103.8), respektive en erkänd tryckkärlsnorm (IMDG 13.1.3.11).

En sådan teknisk norm utgörs i Sverige av de av Tryckkärlsstandardiseringsutgivna Anvisningar för transportbehållare för farligt gods (TBA).

För själva transporten av farligt gods i tank är regelsystemet mycket omfattande, med anvisningar för klassificering, dokumentation, märkning, krav på fordonet och dess utrustning, särskilda regler för vissa ämnen eller ämneskategorier och så vidare. Ofta framhålls att regelsystemet är för stort och komplext och därigenom kan motverka sitt syfte, genom att reglerna missförstås, ignoreras eller kringgås.

Standarder

Som nämnts i föregående kapitel erfordras en teknisk norm som komplement till regelverken vid konstruktion av tankar och tankcontainrar. Sådana normer har i regel tagits fram nationellt i form av standarder eller standardliknande riktlinjer. Exempel är de svenska TBA, som i stor utsträckning stöder sig på Tryckkärlsnormerna, de tyska AD-Merkblätter (Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter) och den amerikanska ASME-koden (American Society of Mechanical Engineers). Den sistnämnda används också i flera europeiska länder.

Det finns nu en strävan att ta fram en gemensam europeisk norm för ändamålet. Arbetet bedrivs i CEN och dess tekniska kommittéer TC 268 (för kryotankar), TC 286 (för LPG-tankar) och TC 296 (generellt för tankar), samt i viss mån i ISO, TC 215 för tankcontainrar. Standarderna som nu, 1999, håller på att färdigställas innehåller i första hand riktlinjer för materialval, konstruktion, provning, godkännande och märkning men också för användning.

Transportdokumentation

Information som skall medfölja transporten är farligt-godsdeklaration, skriftliga instruktioner (transportkort), etiketter och märkning. Syftet är i första hand att räddningstjänst och annan berörd personal vid en olycka skall kunna identifiera det farliga godset och vidta lämpliga åtgärder med ledning av dokumentationen.

Olyckstyp

Singelolycka

Ungefär hälften av trafikolyckor med farligt gods är singelolyckor (44 % i Theseusstudien, 52 % i Vägverkets utredning). I flera fall där omständigheterna är oklara kan det antas att föraren somnat.

Kollision

Kollision mellan fordon har skett i 56 % av de i Theseusstudien undersökta fallen. Följande fördelning anges i relation till samtliga olyckor.

Frontalkollision: 23 %
Mot tankens sida: 15 %
Påkörning bakifrån: 17 %

Vältning

Vältning är en vanlig konsekvens av en avkörning och inträffade i 86 % av de i Theseusrapporten redovisade singelolyckorna. Möjligen beror siffran på att en singelolycka inte blir signifikant nog för rapportering om inte fordonet välter. I kollisionsfallet anges vältning i 15 % av fallen.

Utmattning

Utmattningsskador är en inte så ovanlig orsak till läckage. Som beskrivits ovan under risker associerade med tankkonstruktionen är vägens tillstånd en avgörande faktor i kombination med materialval och konstruktionsgeometri. Problem med utmattningsskador berör i första hand aluminiumtankar för transport av petroleumprodukter. Stål i kemikalie- och gastankar har i genomförda undersökningar inte uppvisat utmattningsskador.

Utrustningshaveri

Funktionsproblem med utrustningen har berörts ovan och har i huvudsak tre orsaker, mekanisk överbelastning, felaktigt handhavande och slitage. I det första fallet får undersökas om godtagbart skydd för utrustningen finns och om tanken används på avsett sätt. Slitage kan vara en underhållsfråga.

Kostnads-nyttoöverväganden

Ofta saknas väsentligt beslutsunderlag när regelskrivning diskuteras. Åtgärder föreslås som medför höga kostnader för transportbranschen, utan att det kan visas att säkerhetsvinsten står i proportion till dessa kostnader. Det är därför av stort intresse att utveckla modeller och metodik för att bedöma och analysera riskrelaterade kostnader på teknisk grund.

I THESEUS-projektet har en ansats gjorts att kvantifiera kostnad och nytta, vilket gett en tabell över förhållandet för en rad föreslagna åtgärder. Tabellen återges i förenklad form nedan. Den ekonomiska potentialen är här omräknad till svenska kronor men avser tyska förhållanden.

Tabell 13. Kostnads-nyttoförhållandet för skadereducerande åtgärder (enligt THESEUS [2]).

Åtgärd	Uppskattad ekonomisk vinst (MSEK)	Kostnad/nytta
Lägre tyngdpunkt	6678	0,02
Vältvarning	7250	0,07
Bättre infästningar	2031	0,10
Förbättrat domlock	3037	0,10
Varningssystem mot närobject	3357	0,17
Hörnskydd fram	10860	0,52
Förbättrat ljus	985	0,57
Rullningsskydd	3068	0,80
Hörnskydd, bak	4428	1,28
Hastighetsbegränsare	209	1,41
Förstärkt tank	20939	2,78
ABS m fl bromssystem	372	3,33
Dubbel framgavel	2593	3,85
Innerbeklädnad	17522	3,85
ASR	47	6,25
Yttre ytbeläggning	3355	7,69
Partiell innerbeklädnad	2622	10,00
Retarder	1684	12,50
Luftrycksövervakning	33	14,29
Dubbel bakgavel	645	14,29
Sidskydd	295	100,00
Bakre påkörningsskydd	223	100,00

Åtgärder som bör genomföras mot bakgrund av denna utredning är i första hand de som ger ett kostnads-nyttoförhållande mindre än ett. Det betyder (med reservation för att metodiken och principerna som lett fram till tabellen inte är helt klarlagda) att på ett års sikt är den ekonomiska vinsten större än den periodiserade kostnaden. Prioriterade åtgärder är därför:

- Lägre tyngdpunkt
- Vältvarning
- Bättre infästningar
- Förbättrat domlock
- Varningsystem mot närobject
- Hörnskydd fram
- Förbättrat ljus
- Rullningsskydd

Förslag som lagts fram till ADR under 1997 – 98 om dubbel bakgavel och bakre påkörningsskydd hör till de minst effektiva enligt denna analys.

I en tidigare svensk studie [15] har kostnadseffektanalys gjorts på förändringar i infrastruktur, nämligen skyddsområde kring järnväg i stadsmiljö och nybyggnad av väg för bensintransporter. I ingetdera fallet har åtgärderna gått att motivera, i fallet nybyggnad av väg är kostnads-nyttoförhållandet över 5 000.

Skadeanalys

En systematisk skadeanalys syftar till att så långt möjligt fastställa händelsekedjan från den initierande kritiska avvikelser till den slutliga skadan. Ett antal faktorer samverkar till olyckan och ett antal kontrollbarriärer måste överskridas för att denna skall ske, enligt vad som visas schematiskt i figur 4.

Det är en fördel om skadeanalysen kan ge svar på varför och en olyckssituation utvecklats och bidra till den samlade kunskapen om statistiska faktorer i händelsekedjan. Det vore också värdefullt om slutsatser kunde dras om varför läckage eventuellt inte uppstår i en incident. En ingående skadeanalys är emellertid resurskrävande och låter sig inte alltid göras för alla incidenter.

För att få viss struktur och rutiner har två typer av formulär utvecklats för skaderapportering. Det ena (bilaga 1), som skall kunna fyllas i snabbt och enkelt, ger en översiktlig information om skadebilden och skall kunna tjäna som underlag för beslut om huruvida en mer detaljerad teknisk undersökning skall utföras. Förslaget är att räddningstjänsten svarar för att detta första formulär fylls i och sänds till Räddningsverket.

Det andra formuläret (bilaga 2) skall vara ett stöd för skadeutredaren som gör den tekniska undersökningen och samtidigt medge ett enhetligt rapporteringsförfarande.

För att rekonstruera själva händelsekedjan kan följande sammanställning av de faktorer och samband, som beskrivits i denna rapport, vara vägledande.

Analys av händelseförloppet

Analysen utnyttjar den information som insamlats enligt ovan för att fastställa ett troligt händelseförlopp. Ett schema kan ställas upp för möjliga händelsekedjor och följas vid arbetet. Resultatet skall i möjligaste mån innehålla följande slutsatser eller underlag.

- Fastställande av sannolik händelseutveckling
- Identifiering av svagheter i systemet vad gäller
 - tankmaterial
 - utrustningsdetaljer
 - konstruktion
 - tillverkning
 - fordon
 - trafiksituation
 - handhavande av gods
 - underhåll
 - organisatoriska förhållanden, management

Grundläggande uppgifter om situationen vid olyckshändelsen kan i regel noteras direkt enligt tabell 14. Klarläggande av händelseförloppet fram till olyckan kan vara mer eller mindre resurs- och tidskrävande. Det kan vara till hjälp att följa ett analyschema enligt tabell 15 – 22. Det är strukturerat så att man från iakttagelse av läckans karaktär enligt tabell 15 (A) och identifikation av aktuell orsak eller faktor leds vidare via hänvisning till följande tabeller (exempelvis (F7)). Den kursiverade texten avser att ge närmare förklaring eller precisering av den aktuella skadefaktorn.

På så sätt identifieras en händelsekedja, som beskrivs i skadebesiktningsrapporten eller illustreras som ett felträdsdiagram (se även exemplet på sidan 52).

Tabell 14. Uppgifter att redovisa i skaderapporten

Skadans omfattning	Fordonskaraktäristika
– Storlek, antal, placering	– Bil med eller utan släpvagn
– Utläckt volym	– Semitrailer
Tankkaraktäristika	– Löstagbar tank, tankcontainer
– Material	Olyckstyp
– Väggtjocklek	– Dikeskörning
– Tankens tvärsnittsform	– Kollision
– Kalkyl- och provtryck	– Vältning
– Fyllnadsgrad vid händelsen	– Singelolycka
– Besiktningsstatus	– Ej i trafik
	Omedelbar orsak till skadan
	– Sekvens enligt tabeller nedan

Tabell 15. Lokalisering av läcka och möjliga orsaker (A)

<p>A1. Läckande tank</p> <p>A2. Läckande ventil</p> <p>A3. Läckande domlock</p> <p>A4. Läckande slang</p> <p>A5. Läckande rörledning</p> <p>A6. Ej läckage</p>
<p>1. Läckande tank</p> <p>Omedelbar orsak till skadan</p> <ul style="list-style-type: none"> – Utmattningspricka (B1) <i>Analys av brottyta visar karakteristiskt mönster med en relativt blank, bågformigt avgränsad yta med så kallade striationer (vågmonster) och resterande del av brottytan ett ojämna restbrott.</i> – Otät svetsfog (B2) <i>Sprucken, ofylld eller nerslipad svetsfog.</i> – Brott genom överbelastning (B3) <i>Tanken är sprängd, punkterad eller uppriven. Spricka på grund av intryckt tankvägg.</i> – Nötningsskada (B7) <i>Tankplåten nerslipad på grund av till exempel att vält tank glidit mot vägbanan eller annat underlag.</i>

2. Läckande ventil
Omedelbar orsak till skadan
 - Utmattningsspricka (B1)
Brottyta enligt ovan.
 - Brott genom överbelastning (B3)
Spricka på grund av slag, övertryck och liknande.
 - Otät packning (B4)
Läckage i anslutning på grund av otätt tätningselement.
 - Ventil felställd (C3)
Säkerhetsventil inställd på för lågt utlösningstryck, bottenventil ej stängd.

3. Läckande domlock
Omedelbar orsak till skadan
 - Brott genom överbelastning (B3)
Spricka på grund av slag, övertryck och liknande.
 - Lock öppet (D2)
Lås ur funktion eller lucka deformerad på grund av slag, övertryck och liknande. Locket ej stängt under färd.
 - Otät packning (B4)
Läckage trots att locket är stängt och tillsynes odeformerat.

4. Läckande slang
Omedelbar orsak till skadan
 - Nötningsskada (B7)
Slangen skavd på grund av olämplig placering, vibrationer under färd
 - Brott genom överbelastning (B3)
Slangen utsatt för kraftig deformation genom att den fastnat vid körning, blivit överkörd och liknande.
 - Otät anslutning (B5)
Läckage på grund av slitage, bristande passning eller dålig tätning i anslutningspunkter.

5. Läckande rörledning
Omedelbar orsak till skadan
 - Utmattningsspricka (B1)
Brottyta enligt ovan.
 - Brott genom överbelastning (B3)
Rörsystemet utsatt för slag eller kraftig deformation.
 - Otät anslutning (B5)
Läckage på grund av slitage, bristande passning eller dålig tätning i anslutningspunkter.

6. Ej läckage
Sannolika orsaker till att läckage ej uppstått trots onormal belastning
 - Materialval*
 - Ändamålsenlig konstruktion*
 - Lämpligt skydd för utrustning*
 - Överdimensionering i förhållande till regelverk*
 - Extra underhåll*
 - Korrigerande åtgärd av förare*

Tabell 16. Materialrelaterade skador och möjliga orsaker (B)

<p>B1. Utmattningspricka B2. Otät svetsfog B3. Brott genom överbelastning B4. Otät packning B5. Otät anslutning B6. Korrosion B7. Nötningsskada</p>
<p>1. Utmattningspricka Omedelbar orsak till skadan</p> <ul style="list-style-type: none"> – Korrosion (B6) <i>Korrosionsangrepp kan finnas såväl utifrån (yttre miljö) som inifrån (transporterat ämne). De kan initiera en utmattningspricka och accelerera dess utbredning.</i> – Olämpligt material (H4) <i>Materialet kan ha låg utmattningsgräns eller otillräckligt Wöhlersamband.</i> – Område med spänningskoncentrationer pga olämplig utformning (D5) <i>Hörn, kanter, anslutningar och kälar med liten krökningsradie ger ofta höga spänningar och initierar sprickor.</i> – Låg vägstandard (F6) <i>Mycket körning på ojämna vägbana ger vibrationer i fordonet som överförs till exempelvis infästningar.</i> – Vridningsvek ram (D6) <i>Torsion av tanken ger växlande belastning med skjuvspänningar som kan ge utmattningsbrott.</i> <p>2. Otät svetsfog Omedelbar orsak till skadan</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ofullständigt ifylld svets, roffel (E1) <i>Kontroll av det aktuella området, eventuellt med mikroskopi och analys av material i den värmepåverkade zonen (HAZ).</i> – Korrosion (B6) <i>Svetsfogen kan vara känslig för korrosion på grund av värmebehandlingen, ojämna struktur med mera.</i> – Olämplig placering (D8) <i>Svetsar i kanter, till exempel övergång mellan mantel och gavel, och i särskilt påkända områden kan lätt bli överbelastade.</i> – Nedslipning (E2) <i>Då den råa tanken slipas för att få en jämn yta riskerar svetsfogar att slipas ner för mycket.</i> <p>3. Brott genom överbelastning Omedelbar orsak till skadan</p> <ul style="list-style-type: none"> – Tanken överlastad (G2) <i>Tank som är fylld över tillåten fyllnadsgrad riskerar att sprängas vid temperaturhöjning. Tank över tillåten bruttovikt ger förutom lägre stabilitet extra påkänningar på infästningar och tankskal.</i>

- Vassa föremål på vägen eller i dess närhet (F1)
Exempel är stenar i vägdike, cementtrummor, vägräcken.
 - Område med spänningskoncentrationer pga olämplig utformning (C5)
Hörn, kanter, anslutningar och kälar med liten krökningsradie ger ofta höga spänningar och initierar sprickor. Infästning av skiljeväggar och skvalpskott är också en kritisk punkt.
 - Låg temperatur (F7)
Material blir sprödare vid låg temperatur.
 - Hög temperatur, brand
Brand kan orsaka tanksprängning eller smältning av tankmaterialet. Hög temperatur ger också förhöjt tryck.
 - Säkerhetsventil ur funktion (C1)
 - Tanken påkörd (F2)
 - Tanken vält (F3)
 - Underdimensionering (D1)
 - Skydd för utrustning otillräckligt (D7)
4. Otät packning
Omedelbar orsak till skadan
- Inkompatibilitet med transportgods (G1)
Kontrollorganen gör i regel en bedömning av vilka ämnen som är möjliga att transportera med hänsyn till bland annat tankmaterialet. Ibland fästes mindre avseende vid t. ex. tätningmaterial. En hel del överläts på avsändarens ansvar vilket ibland ger olämpliga kombinationer.
 - Åldring av material (B6)
Plaster och elastomerer förlorar med tiden elasticitets- och hållfasthetsegenskaper.
 - Felmontering (E3)
Packningen kan ha blivit vänd eller monterad på annat ej avsett sätt vid utbyte eller underhåll
 - Bristande underhåll (H1)
På grund av åldringsegenskaperna behöver packningar bytas med vissa intervall.
5. Otät anslutning
Omedelbar orsak till skadan
- För höga böjmoment (D2)
Genom yttre belastning eller inbyggda spänningar kan böjpåkänningarna bli stora.
 - Otät packning (B4)
Läckage i anslutningen utan påvisbar deformation.
 - Felmontering (E3)
 - Bristande underhåll (H1)
Flänsförband dåligt åtdragna, korrosion i anslutningen med mera.

6. Korrosion, åldring
Omedelbar orsak till skadan
- *Inkompatibilitet med transportgods (G1)*
Materialet måste tåla innehållet i tanken. Viss nedfrätning är acceptabel om motsvarande korrosionstillägg gjorts på väggfjockleken.
 - Bristande underhåll (H1)
Reparation av korrosionsskador ej utförd.
 - Hög temperatur (F7)
Hög temperatur påskyndar fysikaliska och kemiska processer, inklusive korrosion och åldring av material.
7. Nötningskada
Omedelbar orsak till skadan
- Otilräcklig infästning (D3)
Otilräcklig infästning medger relativ rörelse som ger upphov till nötning genom gnidning och friktion.
 - Vibrationer (D4)
Vibrationer kan medföra flera skadetyper, där svängningar i olämplig fas mellan näraliggande element bland annat kan ge nötningskador.

Tabell 17. Utrustningsrelaterade skador och möjliga orsaker (C)

<p>C1. Säkerhetsventil ur funktion C2. Domlock öppet C3. Ventiler felställda C4. Utrustningsdetaljer avslagna eller deformerade C5. Överfyllnadsskydd ur funktion</p>
<p>1. Säkerhetsventil ur funktion Omedelbar orsak</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utlösningstryck för högt eller lågt (ventil felställd) (C3) - Felmontering (E3) - Korrosion (B6) <p>2. Domlock öppet Omedelbar orsak till skadan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Underdimensionerat lock eller låsanordning (D1) - Skydd för utrustning otillräckligt (D7) <p>3. Ventiler felställda Omedelbar orsak</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bristande information (H8) - Bristande rutiner (H9) <p>4. Utrustningsdetaljer avslagna eller deformerade Omedelbar orsak till skadan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Skydd för utrustning otillräckligt (D7) <p>5. Överfyllnadsskydd ur funktion Omedelbar orsak</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bristande underhåll (H1) - Bristande rutiner (H9)

Tabell 18. Konstruktionsrelaterade skadefaktorer och möjliga orsaker (D)

<p>D1. Underdimensionering D2. För höga böjmoment D3. Otillräcklig infästning D4. Vibrationer D5. Område med spänningskoncentrationer D6. Vridmotstånd D7. Skydd för utrustning otillräckligt D8. Olämplig design</p>
<p>1. Underdimensionering Omedelbar orsak – Beräkning (H3) – Oförutsedd användning – Felaktigt materialval</p> <p>2. För höga böjmoment Omedelbar orsak – Otillräcklig infästning (D3) – Beräkning (H3)</p> <p>3. Otillräcklig infästning Omedelbar orsak – Beräkning (H3)</p> <p>4. Vibrationer Omedelbar orsak – Olämplig resonans (H10) – Vägslag, ojämn väg (F6)</p> <p>5. Område med spänningskoncentrationer Omedelbar orsak – Ej dimensionering för kälverkan etc. (H3, H10)</p> <p>6. Vridmotstånd Omedelbar orsak – Beräkning (H3)</p> <p>7. Skydd för utrustning otillräckligt Omedelbar orsak – Beräkning (H3) – Bristande underhåll (H1)</p> <p>8. Olämplig design Omedelbar orsak – Bristande information (H8)</p>

Tabell 19. Tillverkningsrelaterade faktorer (E)

<p>E1. Svetsfel E2. Nedslipning E3. Felmontering av komponenter</p>
<p>1. Svetsfel Typ – Rotfel – Fyllning</p> <p>2. Nedslipning</p> <p>3. Felmontering av komponenter</p>

Tabell 20. Trafik- och miljörelaterade skadefaktorer och möjliga orsaker (F)

<p>F1. Vassa föremål F2. Påkörning F3. Vältning F4. Fordonsstabilitet F5. Vägutformning F6. Vägslag F7. Fordonsutformning F8. Hög hastighet F9. Punktering F10. Annan trafik F11. Onormal temperatur F12. Brand</p>
<p>1. Vassa föremål Orsak</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detaljer på fordonet (F7) - Vägutformning (F5) - Vältning (F3) - Påkörning (F2) <p>2. Påkörning Orsak</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hög hastighet (F8) - Förarbeteende (H2) - Bromsar (F7) - Vägslag (F6) - Punktering (F9) <p>3. Vältning Orsak</p> <ul style="list-style-type: none"> - Förarbeteende (H2) - Hög hastighet (F8) - Väjning för mötande (F10) - Vägstandard (F5) - Vägslag (F6) - Fordonsstabilitet (F4) - Punktering (F9) - Påkörning (F2) <p>4. Fordonsstabilitet Orsak</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tyngdpunktsläge (F7) - Fyllnadsgrad (G2) - Släp (F7) - Vridmotstånd (D6) - Punktering (F9) <p>5. Vägutformning Faktor</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dålig sikt <i>Dålig sikt på grund av vägens utformning, buskage, vägrenar, snäva hörn med mera</i> - Korsning <i>Oklar företrädesrätt, ignorerad stopplik</i>

- Cirkulationsplats
- Oklar företrädesrätt, ignorerad stopplikt*
- Kurvor
- Vägbredd
- Svag vägkant
- Vägräcken, vägtrummor
- 6. Väglag
- Faktorer
- Halka
- Grusväg
- Ojämn väg
- Vattenplaning
- Dålig sikt
- Dålig sikt på grund av väderförhållanden, dimma, regn, snöfall*
- 7. Fordonsutformning
- Faktorer
- Bromsar
- Detaljer på fordonet
- Vassa detaljer
- Tyngdpunktsläge
- Släpets stabilitet
- Däck
- 8. Hög hastighet
- Orsak
- Förarbeteende (H2)
- Bristande information (H8)
- 9. Punktering
- Orsak
- Däck (F7)
- Bristande underhåll (H1)
- Väglag (F6)
- 10. Annan trafik
- Mötande, korsande eller bakifrån kommande trafik oförutsägbar.*
- 11. Onormal temperatur
- Orsak
- Varmt eller självupphettande transportgods (G3)
- Brand (F12)
- Hög yttertemperatur
- Låg yttertemperatur
- 12. Brand
- Orsak
- Elektriskt överslag
- Varmgång i lager
- Självupphettande eller självantändande transportgods (G3)

Tabell 21. Godsrelaterade skadefaktorer och möjliga orsaker (G)

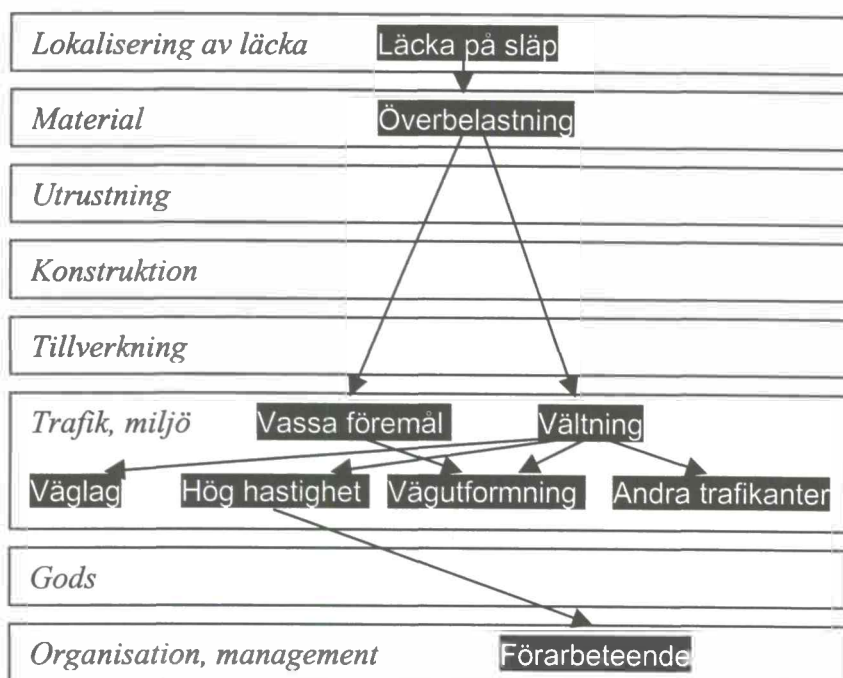
<p>G1. Inkompatibilitet mellan material och transportgods G2. Överfyllnad G3. Självupphettande eller självantändande transportgods</p>
<p>1. Inkompatibilitet mellan material och transportgods – Tank används för icke avsett gods (H6) <i>Anvisningar för ämnen, fyllnadsgrad, densitet eller ångtryck saknas, är oklara eller ignoreras.</i> – Materialval i packningar etc. olämpligt (H4) <i>Packningsmaterial utbytt mot icke-resistent typ</i> – Föreskriven korrosionsmån ej tillämpad (H5) <i>Korrosionstillägg på plåttjocklek försummas ofta</i></p> <p>2. Överfyllnad – Överfyllnadsskydd ur funktion (C5)</p> <p>3. Självupphettande eller självantändande transportgods <i>Vid transport enligt gällande regler bör detta inte ge problem.</i></p>

Tabell 22. Managementrelaterade faktorer (H)

<p>H1. Bristande underhåll H2. Förarbeteende H3. Beräkning H4. Materialval olämpligt H5. Korrosionsmån ej tillämpad H6. Tank används för icke avsett gods H7. Utrustning ur funktion H8. Bristande information H9. Bristande rutiner</p>
<p>1. Bristande underhåll <i>Underhållsplaner saknas, är orealistiska eller följs ej</i></p> <p>2. Förarbeteende <i>Olämpligt förarbeteende på grund av bristande erfarenhet, utbildning, trötthet, sjukdom, alkoholpåverkan, riskbenägenhet med mera</i></p> <p>3. Beräkning <i>Misstag vid konstruktion eller konstruktionskontroll</i></p> <p>4. Materialval olämpligt <i>Misstag vid konstruktion eller konstruktionskontroll</i></p> <p>5. Korrosionsmån ej tillämpad <i>Misstag vid konstruktion eller konstruktionskontroll</i></p> <p>6. Tank används för icke avsett gods <i>Bristande rutiner eller information</i></p> <p>7. Utrustning ur funktion <i>Olämpligt val av utrustning, bristande underhåll, bristande tillsyn, korrosion, mekanisk skada</i></p> <p>8. Bristande information <i>Föreskriftskrav, underhållsplaner, kvalitetssystem, fraktdokument</i></p> <p>9. Bristande rutiner <i>Procedurer för arbetsmoment ej klarlagda</i></p>

Exempel på händelseutveckling

Som exempel betraktas en olyckshändelse med en tankbil med släp innehållande 30 m³ dieseloilja. Cirkan hälften av oljan rann ut då släpet välte och tanken punkterades. Händelsen som skedde 1994 finns dokumenterad i [16] och [17].



Figur 12. Schema över händelsekedjan i exemplet. Pilarna visar analysgången, medan händelseutvecklingen snarast är motsatt.

A. Lokalisering av läcka.

Läckande tank på släp. Tre tanksektioner av fyra visar läckage. Läckaget orsakas av överbelastning på tanken.

B. Materialrelaterade skador

Överbelastning på tanken. Orsaken är vassa föremål (stenblock) i vägens närhet (vägdiket).

E. Trafikrelaterade skador.

Vassa föremål (stenblock) punkterat tanken. Orsaken är att släpet välvt efter att ha gått ner i diket. Dikeskörningen och vältningen orsakas av en kombination av halka (kraftigt snöfall), vājning för mötande fordon (annat lastfordon blockerade vägen), hög hastighet och låg vägstandard (7 m vägbanebredd, tillåten hastighet 90 km/h, stort antal utfarter).

Olycksrisken på den aktuella vägen var känd och påpekad från kommun och länsstyrelse tidigare [16]. Efter den aktuella olyckan drogs också slutsatsen [16] att ADR-bestämmelserna om slagåtlighet hos tankar måste ses över.

Spårsäkring

Ett första steg i den tekniska skadeanalysen är besiktningen av skadefallet och säkring av spår. Samtidigt med det kan man börja samla information.

Följande tillvägagångssätt kan tillämpas som minneslista.

1. Kontrollera och fotografera eller teckna en skiss på alla tecken på skador. Ta med något som möjliggör bestämning av skalan.
2. Bedömning av skadans utseende, förlopp och omfattning
3. Fotografera brottytor och ta med för vidare analys
4. Val av lämplig metod för provuttag
5. Märkning av provbitar med skiss över deras ursprungliga läge
6. Skydda korrosionsutsatta brottytor, till exempel genom förvaring i exsiccator. Vidrör aldrig sådana ytor.
7. Genomgång av omständigheter, vittnesutsagor etc.

Insamling av information

Vad gäller bedömningen av materialets roll i utvecklingen av en skada är följande information av central betydelse.

1. Typ av material (skaffa eventuellt provningsintyg)
2. Värmebehandling av materialet och av komponenten
3. Tillverkning, färdigställande och slutkontroll av komponenten
4. Egenskaper hos komponenten med konstruktionsritning, beräkningar, arbetsätt, belastningstyp, belastningsnivå, dimensionering, ändringar (med eller utan efterföljande besiktning), seriestorlek
5. Komponentens funktion och läge i den aktuella konstruktionen
6. Driftbetingelser: ålder, drifttid, tidigare skador, reparationer, revision, besiktningsintervall, ändringar i driften, överbelastning, stillastående
7. Miljöbetingelser: temperatur, tryck, korroderande medier, eroderande medier
8. Driftförhållanden då skadan uppkom, igångsättning, belastning, uppvärmning, nedkylning
9. Skadans utveckling, med tidpunkt, tidsförlopp och särskilda observationer
10. Händelser efter skadan, följdskador, felaktig behandling eller lagring, genomförda utredningar

Materialsador

Det tekniska arbetet med materialundersökning, fraktografi och verifierande provning beskrivs i handböcker, till exempel [18]. Sådana undersökningar kan vara aktuella för att fastställa varför en spricka uppstått, t. ex. genom utmattning, direkt överbelastning eller korrosion, och om det använda materialet är lämpligt för sitt ändamål.

Referenser

- [1] Höherwertige Transporttechnik und ihre Konsequenzen für die Beförderung gefährlicher Güter, Gutachten 1.5/12379, BAM, Berlin, 1988
- [2] THESEUS, Tanks mit höchst erreichbarer Sicherheit durch experimentale Unfallsimulation, Final Summary Report, BMBF, Köln, 1995
- [3] Handbok för vägtransport av farligt gods, Arbetskydds-nämnden, Stockholm, 1997
- [4] Hagberg, Th. och H. Larsson, Tankvagnar och tankfordon för farligt gods, Examensarbete, Chalmers Transportteknik, 1992
- [5] Otto, H E, Investigation of tank car failures resulting from poor welding practices, Structural failure, product liability and technical insurance (ed. H Rossmanith), Elsevier, 1993
- [6] Databas GUNDI, Gefahrgut-Unfall-Datenbank im Internet, Gefährliche Ladung, <http://194.123.204.199/gundi/index.asp>
- [7] Ervin, R D, The failure of manhole covers on tank trailers during rollover, Damage prevention in the transportation environment, s. 330 - 341, US Govt Printing Office, 1983
- [8] Bock, B., Kartläggning av utmattningsskador på tankfordon för farligt gods, SA, Stockholm, 1991
- [9] Olofsson, U., Belastningar på tankfordon, SP-AR 1991:56, Borås 1991
- [10] Svensson, Th. och H. Torstensson, Dimension criteria for tanks for dangerous goods, Proceedings of the IES, Mt. Prospect, Ill., 1995
- [11] Kieselbach, R, Safety of tanks for dangerous goods – a comparison of experience and codes, Structural failure, product liability and technical insurance (ed. H Rossmanith), Elsevier, 1993
- [12] Räddningstjänst i siffror 1997, Räddningsverket, Karlstad 1998
- [13] Proposal for a new draft regulation: Uniform provisions concerning the approval of tank vehicles of categories N and O with regard to rollover stability, TRANS/WP.29/GRRF/1997/8, ECE Genève 1997
- [14] Granefelt, S. och L. Åhlén, Vägutformningens betydelse vid olyckor med farligt gods, Publ. 1997:87, Vägverket, Borlänge 1997
- [15] Lindberg, E. och B. Morén, Riskanalysmetod för transporter av farligt gods på väg och järnväg, VTI-rapport nr 387:1, Linköping 1994

- [16] Trafikolycka med farligt gods på riksväg 29 den 18 januari 1994, Länsstyrelsen i Blekinge, 1994
- [17] Svedung, I. och J. Rasmussen, Riskhantering i ett systemperspektiv, Räddningsverket P21-195/97, Karlstad 1997
- [18] Lange, G (utg.), Systematische Beurteilung technischer Schadensfälle, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde, 2 uppl 1987.

Haverirapport - räddningstjänst

Reg.nr: (ifylles av SRV)

Skadeuppföljning av olyckor och tillbud med transporttankar innehållande farligt gods. Ifylld blankett faxas till SRV (054-10 41 70).

1. Olycks-/tillbudsplats

Datum Klockslag

2. **Identifiering av tank (fordon)**

- fordonsmonterad → typ dragbil reg.nr
 släpvagn reg.nr
 semitrailer reg.nr
 cisternvagn (järnväg) reg.nr
 tankcontainer/löstank reg.nr
 annan, ange reg.nr

Ägare/transportör.....

3. **Produktinformation**Ämne
(kemiskt namn)

Produktform gas, inkl. gas i flytande form
 vätska *Transportklassificering* FN-nummer
 fast

Transporterad mängd full tank
 delvis fylld tank
om möjligt, ange mängd

4. **Läckage av produkt** Ja Nej om ja, fyll i nedan

Var läcker tanken? tankskal
 domlucka → Vid markering i rutan "domlucka", markera
 rör/slang med kryss om luckan är deformerad
 utrustning (t ex ventil)

Uppskattad mängd hel tank del av fack
 helt fack (ett fack) mindre mängd (genom t ex "dropp")
 flera hela fack

5. **Olycksorsak**

Av vilken anledning har tanken skadats/börjat läcka? påkörd
 vält/spårat ur
 defekt utrustning → markera här om läckage skett i samband med lastning/lossning
 annan

6. **Tankens status**

Beskriv på vilket sätt tanken är skadad och hur skadorna har uppkommit.

.....
.....
.....

Instruktioner se baksidan

Ifylld av

Telefon

Instruktion till blanketten "Haverirapport - räddningstjänst".

Blanketten utgör ett viktigt underlag för SRV för beslut om teknisk utredning av olycka/tillbud med transporttankar innehållande farligt gods.

Blanketten bör faxas snarast till SRV på faxnummer 054-10 41 70. Detta bör ske inom 24 timmar från avslutad insats.

Exempel på ifylld blankett.

Haverirapport - räddningstjänst

Reg.nr:

(ifylles av SRV)

Skadeuppföljning av olyckor och tillbud med transporttankar innehållande farligt gods. Ifylld blankett faxas till SRV (054-10 41 70).

1. Olycks-/tillbudsplats Stockholm, Tegeluddsvägen
Datum 980213 Klockslag 06:30

2. Identifiering av tank (fordon)

fordonsmonterad → typ dragbil
 släpvagn semitrailer reg.nr XYZ345
 cisternvagn (järnväg) reg.nr
 tankcontainer/löstanke reg.nr
 annan, ange reg.nr

Ägare/transportör Probantransport AB

3. Produktinformation Ämne Gasol
(kemiskt namn)

Produktform gas, inkl. gas i flytande form
 vätska fast Transportklassificering FN-nummer 1965

Transporterad mängd full tank
 delvis fylld tank
om möjligt, ange mängd

4. Läckage av produkt Ja Nej om ja, fyll i nedan

Var läcker tanken? tankskal
 domlucka → Vid markering i rutan "domlucka", markera
 rör/slang med kryss om luckan är deformerad
 utrustning (t ex ventil)

Uppskattad mängd hel tank del av fack
 helt fack (ett fack) mindre mängd (genom t ex "dropp")
 flera hela fack

5. Olycksorsak

Av vilken anledning har tanken skadats/börjat läcka? påkörd
 välutspårat ur
 defekt utrustning → markera här om läckage skett i samband med lastning/lossning
 annan

6. Tankens status

Beskriv på vilket sätt tanken är skadad och hur skadorna har uppkommit.

Slang lossnade och blev påkörd av den egna bilen. Slang och rör slets av vid tankens främre gavel med läckage som följd.

Instruktioner se baksidan

Ifylld av M. Clean
Telefon 031-88 88 88

Haverirapport - teknisk utredning

1. Olycks-/tillbudsplats

Datum Klockslag

Registreringsnummer "Haverirapport - räddningstjänst"

2. Identifiering av tank (fordon)

Tanktyp fordonsmonterad → typ dragbil
 fast/avmonterbar tank släpvagn
 cisternvagn semitrailer
 tankcontainer
 annan

Registreringsnummer *Tillverkningsnummer*

Tillverkare *Tillverkningsår*

Referensnummer besiktningsorganisation

Besiktningsorganisation

Ägare (inkl. adress o tel).....

.....

.....

Kontaktperson.....

3. Tanktekniska uppgifter

Tankmaterial

Beräkningstemperatur

Kalkyltryck (beräkningstryck).....

Provtryck.....

Godstjocklek (mantel/gavlar).....

Godkända medier

(ev. ämneslistor)

.....

Norm ADR RID IMDG

Godkänd med stöd av övergångsbestämmelse

Omfattas den transporterade produkten av godkännandet Ja Nej

Tankform cylindrisk elliptisk koffertformad

Skiss av tank (fackindelning, etc):

4. **Produktinformation** Ämne
(kemiskt namn, korrekt benämning enligt ADR/RID)

Produktform gas
 vätska fast **Transportklassificering** (FN-nummer, klass, ämnesnr)

Transporterad mängd

5. **Läckage av produkt** Ja Nej om ja, fyll i nedan

Var läckte tanken? tankskal
 domlucka → Vid markering i rutan "domlucka", markera
 rör/slang med kryss om luckan är deformerad
 ventil

6. **Tankens status**

Datum för senaste besiktning

Vilken typ av besiktning var det? (Jmfr 211 151, 211 152)

Finns noteringar om anmärkningar från senaste besiktning? Ange!

.....
.....
.....
.....

7. Beskriv tankens/utrustningens skador och hur de uppkommit - referera till skadeförloppet.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. Hade läckage kunnat undvikas (bättre underhåll, byte av utrustning, bättre skydd av utrustning)?

.....

.....

.....

.....

9. Har tankens skador uppkommit pga utmattning?

.....

.....

.....

.....

10. Kunde en annan konstruktionslösning påverkat skadeförloppet?

.....

.....

.....

.....

Räddningsverkets bibliotek
Karlstad



26152002016

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
00, telefax 054-10 28 89. Internet <http://www.raedningsverket.se>

Beställningsnummer P21-290/99. Telefon 054-10 42 86, telefax
ISBN 91-7253-013-8



Prtgj

*Säkerhets-
brister...*