

Transport av explosivt gods

- Känner vi till riskerna?

Felicia Rådne | Riskhantering och samhällssäkerhet | LTH |
LUNDS UNIVERSITET



Transport av explosivt gods

- Känner vi till riskerna?

Felicia Rådne

Lund 2020

Title: Transport av explosivt gods – känner vi till riskerna?
Titel: Transporting explosives – do we know the risks?

Author/författare: Felicia Rådne

Supervisor/handledare LTH: Henrik Hassel
Supervisor/handledare AFRY: Oscar Lindén & Sohrab Nassiri

Number of pages: 83 (including appendixes of 15 pages, front page and table of contents)

Figures: 12

Tables: 20

Keywords

ADR class 1, dangerous goods, event tree, explosives, road accident, road transport, risk, vehicle fire

Sökord

ADR klass 1, explosivt gods, explosiva ämnen och föremål, farligt gods, fordonsbrand, händelsetråd, risk, trafikolycka, vägtransport

Abstract

The transport of dangerous goods is associated with the risk of accidents with potentially severe consequences. Therefore, risk analyses are performed before allowing for the exploitation of land near roads designated for the transportation of such goods. Event tree analysis is a common tool for the quantification of accident scenarios regarding probabilities of such events. Previous work done at the Division of Risk management and Societal Safety at Lund University has shown a great variation in the various assumptions and quantification of parameters when performing event tree analysis. Therefore, this work aims at, through a literature study, investigate what knowledge is known about the risks associated with the transport of explosive goods. Furthermore, the goal is to present recommendations when performing such event tree analyses from the information provided by the study. From the study it is concluded that accident scenarios involving vehicle fire seems to be the most critical ones when it comes to the transport of explosives. In addition, one main conclusion is that there is a need for further work within the field. This would allow for a further reduction of the uncertainties associated with risk analyses regarding the transportation of dangerous goods, including explosives.

© Copyright: Division of Risk Management and Societal Safety, Faculty of Engineering
Lund University, Lund 20XX

Avdelningen för Riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet,
Lund 2020.

Riskhantering och samhällssäkerhet
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

<http://www.risk.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Risk Management and Societal Safety
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

<http://www.risk.lth.se>

Telephone: +46 46 222 73 60

Sammanfattning

I samhällsplanering är hälsa, säkerhet och risk centrala begrepp (Boverket, 2015). I takt med att samhället förändras kan somliga risker minska eller rentav elimineras, medan andra kan intensifieras. Förtätningen av städer medför flera positiva effekter, såsom närheten till olika aktiviteter, ökad trygghet och minskad segregering (Boverket, 2016). Det tillkommer dock även utmaningar. En sådan utmaning uppstår då vi vill nyttja mark nära befintliga riskobjekt. Ett tydligt exempel är vid detaljplanering intill vägar och järnväg som är utpekade leder för transport av farligt gods.

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för ämnen och produkter som kan utgöra en fara för människor, djur, miljö, egendom eller annat gods om de hanteras på ett felaktigt sätt (Trafikverket, 2017a). Exempel på sådant gods är brandfarliga ämnen och giftig gas. Dessa typer av varor används i en mängd olika typer av verksamheter vilka är viktiga för samhället.

Vid exploatering av mark nära transportleder för farligt gods är riskanalys ett viktigt verktyg för att utreda huruvida transporten medför en oacceptabelt hög risk för de personer som kommer vistas i området. Vid en kvantitativ riskanalys för transport av farligt gods utreds vilka konsekvenser som kan uppstå till följd av identifierade olycksscenarier samt med vilken frekvens dessa kan förväntas förekomma. För att kunna beskriva scenarieutveckling är händelseträds metodik vanligt förekommande (Abrahamsson, 2002). I ett händelseträd illustreras de olika skadehändelser som kan följa en olycka, exempelvis med farligt gods, och frekvensen för de möjliga scenarierna och slutkonsekvenserna kvantifieras. Metodiken i sig självt är simpel, men att välja delhändelser samt skatta sannolikheterna för dessa är inte alltid en enkel uppgift. Vid skattning av sannolikheter och frekvenser appliceras företrädesvis statistiska analyser, vilket i sin tur ställer krav på det statistiska underlaget (Wp.15, 2008).

Lyckligtvis inträffar relativt få olyckor vid transport av farligt gods, men detta innebär även en svårighet i att återfinna tillräckligt stort statistiskt underlag för att skatta ingående parametrar i händelseträdet. Dessutom ställs krav på identifiering av aktuella olycksscenarier. I detta steg av en riskanalys uppstår dels osäkerheter kring huruvida samtliga tänkbara olycksscenarier identifierats (Abrahamsson, 2002), dels behöver en avvägning genomföras angående rimlighet och detaljeringsgrad vid valet av studerade olycksscenarier (Wp.15, 2008).

Denna problematik har bland annat belysts i ett tidigare examensarbete av Alvarsson och Jansson (2016). Varvid skillnader kartlagts i uppbyggnad av händelseträd för flertalet riskanalyser gällande transport av farligt gods i Sverige. Resultatet från studien visade på en mängd olika skillnader avseende bland annat valet av studerade olycksscenarier och skattning av ingående parametrar. Därutöver saknade antaganden ofta förankring i vetenskaplig litteratur. Detta är problematiskt då en variation i antaganden och beräkning av risknivå indirekt leder till att människors liv och hälsa värderas på olika sätt beroende på vem som genomför analysen. Dessutom utgör sådana analyser beslutsunderlag vid samhällsplanering och en under- eller överskattning av risknivån kan leda till en olämplig användning av mark.

Dessa frågor har även lyfts inom näringslivet, bland annat av AFRY (ÅF Pöyry AB), vilka bidragit med handledning i examensarbetet. Målsättningen för arbetet är att utreda uppbyggnaden av händelseträd vid riskanalys gällande vägtransport av explosivt gods. Explosiva ämnen och föremål (klass 1), är en av flera klasser av farligt gods. Avgränsningen till denna klass grundas i en diskussion med AFRY, vilka ser ett större behov av en utredning

gällande denna klass då den bedöms förknippas med större osäkerheter i jämförelse med flera utav de övriga. Genom en litteraturstudie kartläggs kunskapsläget gällande riskerna förknippat med transport av explosivt gods. Därutöver sker en jämförelse mellan resultat från litteraturen med hur riskanalyser genomförs idag. Till grund för analysen ligger det tidigare examensarbetet av Alvarsson och Jansson (2016).

Avslutningsvis sammanfattas resultatet från studien genom att presentera ett förslag till händelseträdd samt möjlig kvantifiering av delhändelser (sannolikheter) utifrån litteraturen. Resultatet kompletteras med en känslighetsanalys. Förhoppningen är att arbetet ska ligga till grund för en ny, transparent händelseträddsmodell som kan anpassas efter projektspecifika förutsättningar.

Genom litteraturstudien konstateras bland annat att fordonsbränder utgör den primära faran vid transport av explosivt gods. Resultatet bekräftas även av den genomförda känslighetsanalysen. Här framgår att olycksscenarier involverat fordonsbränder har störst betydelse för sannolikheten att en explosion ska inträffa givet en olycka. Vidare identifieras två olika typer av fordonsbränder, vilka utifrån litteraturen bedöms vara viktiga att inkludera vid en riskanalys och följaktligen i händelseträdden. Fordonsbränder kan dels uppstå till följd av trafikolyckor med kraftig stötpåverkan. Varvid exempelvis bränsleläckage uppstår och följaktligen antänder. Fordonsbränder kan även inträffa till följd av andra orsaker, såsom mekaniska fel eller däckbränder. Flera källor visar att de senare bränderna är betydligt vanligare. Däremot är sannolikheten för utveckling till en kraftig brand större i det förgående fallet. Vid jämförelsen med 15 tidigare genomförda riskanalyser i Sverige framgår att endast en sådan analys tagit hänsyn till bränder till följd av annat än kollisionsvåldet vid trafikolyckor.

En explosion kan även ske direkt till följd av stötpåverkan vid en trafikolycka. Trafikolyckor är den mest frekventa olyckstypen. Sannolikheten för att en explosion ska inträffa till följd av kollisionsvåld är dock betydligt lägre i jämförelse med sannolikheten för en explosion till följd av påverkan från en brand. På grund av den höga frekvensen för trafikolyckor bedöms detta olycksscenario trots allt viktigt att inkludera vid händelseträdsanalysen.

Därutöver är en huvudsaklig slutsats att den identifierade litteraturen är relativt gammal, över 20 år i flera fall. Därmed finns möjlighet för vidare arbete inom området för att minska osäkerheterna förknippat med resultatet från riskanalyser avseende transport av explosivt gods. Med bakgrund av känslighetsanalysen bedöms vidare studier avseende olycksfrekvens och sannolikheter för fordonsbränder värdefulla. Ett område av intresse utgörs av betydelsen av brandsäkerheten hos fordon avsedda för transport av explosivt gods. Under de senaste 20 åren har säkerhetskraven för dessa fordon ökat. Därmed förväntas sannolikheten för fordonsbränder med påverkan på det transporterade godset ha minskat. Genom litteraturstudien klargörs dock inte hur stor denna förändring kan förväntas vara.

Förord

Idén för detta examensarbete utarbetades utav riskingenjörer vid avdelningen Safety på AFRY (ÅF Pöyry AB). Jag vill rikta ett stort tack till handledare Oscar Lindén och Sohrab Nassiri som gav mig möjlighet att vidareutveckla och genomföra detta arbete. Tack för ert förtroende och er värdefulla vägledning! Vidare vill jag rikta min tacksamhet till Henrik Hassel vid avdelningen för Riskhantering och Samhällshantering vid LTH. Tack för din vägledning och stöttning genom hela examensarbetsprocessen.

Avslutningsvis vill jag tacka alla som visat intresse för mitt arbete, såväl mina framtida kollegor på AFRY i Malmö, men även ni som deltog vid min redovisning. Ert intresse betyder mycket och inger förhoppning om att detta arbete kan ligga till grund för framtida utveckling inom området för transport av farligt gods.

April 2020

Felicia Rådne

E-post: felicia@prosoftware.se

Innehållsförteckning

1. Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Mål och syfte.....	11
1.3 Avgränsningar	11
1.4 Frågeställningar.....	12
2. Teori	13
2.1 Transport av farligt gods	13
2.2 Risk	14
2.3 Händelseträdsanalys	14
2.4 Osäkerheter vid händelseträdsanalys.....	15
2.5 Metoder för att hantera och representera osäkerheter.....	16
2.5.1 Fullständighetsosäkerhet.....	16
2.5.2 Modellosäkerhet.....	16
2.5.3 Parametersäkerhet.....	16
2.5.4 Hantering av osäkerheter i detta arbete	17
3. Metod: litteraturstudie	19
3.1 Frågeställning	20
3.2 Identifiera aspekter och parametrar för vidare utredning	20
3.3 Litteratursökning.....	20
3.4 Urval av litteratur	22
3.5 Sammanställning av resultat och analys	23
3.6 Rekommendationer vid uppbyggnad av händelseträd	23
4. Viktiga aspekter och parametrar för vidare utredning	24
4.1 Parametrar valda för vidare utredning	26
5. Händelseträd: Explosiva ämnen och föremål.....	27
5.1 Det transporterade ämnet.....	27
5.1.1 Ämnesspecifika egenskaper	27
5.1.2 Indelning i riskgrupper.....	28
5.2 Olycksscenarier.....	32
5.2.1 Slutkonsekvens.....	32
5.2.2 Initierande händelser och möjliga skadehändelser.....	34

5.3	Kvantifiering av delhändelser	41
5.3.1	Sannolikheten för stötinitiering (explosion) givet en trafikolycka	42
5.3.2	Sannolikheten för en fordonsbrand givet en trafikolycka	43
5.3.3	Sannolikheten för brandspridning till lasten	45
5.3.4	Sannolikheten för initiering (explosion) givet påverkan från brand.....	47
5.4	Fordon och trafik	48
5.4.1	Fordon för transport av explosivt gods	48
5.4.2	Transporterade mängder	49
5.5	Förslag till händelsetråd	53
6.	Känslighetsanalys och jämförelse med tidigare genomförda riskanalyser	57
7.	Slutsats och diskussion	61
7.1	Osäkerheter, felkällor och diskussion	61
7.2	Slutsats	62
	Referenser.....	64

Bilaga 1: Litteratursökning

Bilaga 2: Förteckning av litteratur vald för djupare analys

Bilaga 3: Sammanfattning: kvantifiering av delhändelser

Bilaga 4: Litteraturstudie: plats- och projektspecifika parametrar

Bilaga 5: Metod känslighetsanalys

Bilaga 6: Tidigare genomförda riskanalyser

1. Inledning

1.1 Bakgrund

I samhällsplanering är hälsa, säkerhet och risk centrala begrepp (Boverket, 2015). I takt med att samhället förändras kan somliga risker minska eller rentav elimineras, medan andra kan intensifieras. Förtätningen av städer medför flera positiva effekter, såsom närheten till olika aktiviteter, ökad trygghet och minskad segregering (Boverket, 2016). Det tillkommer dock även utmaningar. En sådan utmaning uppstår då vi vill nyttja mark nära befintliga riskobjekt. Ett tydligt exempel är vid detaljplanering intill vägar och järnväg som är utpekade leder för transport av farligt gods.

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för ämnen och produkter som kan utgöra en fara för människor, djur, miljö, egendom eller annat gods om de hanteras på ett felaktigt sätt (Trafikverket, 2017a). Exempel på sådant gods är brandfarliga ämnen och giftig gas. Dessa typer av varor används i en mängd olika typer av verksamheter vilka är viktiga för samhället. Exempelvis är transportsektorn idag beroende av drivmedel, såsom diesel eller bensin. Vidare utgör läkemedelsindustrin, produktionen av livsmedel samt tillverkningsindustrin exempel på verksamheter vilka är beroende utav användning av kemikalier, vilka utgör farligt gods (SKL, 2012).

Farligt gods transporteras inom luftfartssektorn och sjöfartssektorn samt på järnväg och väg. Inrikes transporter domineras av de senare transportslagen. Vidare utgör transporten på väg den större andelen. Exempelvis transporterades 2018 totalt 10 miljoner ton farligt gods på väg i jämförelse med 3.8 miljoner ton på järnväg (Trafikanalys, 2019ab). Vidare är olyckor i samband med transport av farligt gods mer frekventa i vägtrafiken. Vid en analys av tillbuds- och olycksrapporter 2006-2014 genomförd av myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB, 2015) framgår att 279 händelser rapporterats i vägtrafiken i jämförelse med 27 i järnvägstraafiken. Olyckorna på väg innefattade exempelvis läckage och utsläpp (57.3 %) samt bränder (7.9 %) (MSB, 2015). Således finns tydliga incitament för att utreda risken till följd av transport av farligt gods. Dessutom krävs i plan- och bygglagen att i samhällsplanering ta hänsyn till människors hälsa och säkerhet och risken för olyckor (Boverket, 2015).

Vid exploatering av mark nära transportleder för farligt gods är riskanalys ett viktigt verktyg för att utreda huruvida transporten medför en oacceptabelt hög risk för de personer som kommer vistas i området. Vid en kvantitativ riskanalys för transport av farligt gods utreds vilka konsekvenser som kan uppstå till följd av identifierade olycksscenarier samt med vilken frekvens dessa kan förväntas förekomma. För att kunna beskriva scenarieutveckling är händelseträdsmetodik vanligt förekommande (Abrahamsson, 2002).

I ett händelseträd illustreras de olika skadehändelser som kan följa en olycka, exempelvis med farligt gods, och frekvensen för de möjliga scenarierna och slutkonsekvenserna kvantifieras. Metodiken i sig självt är simpel, men att välja delhändelser samt skatta sannolikheterna för dessa är inte alltid en enkel uppgift. Vid skattning av sannolikheter och frekvenser appliceras

företrädesvis statistiska analyser, vilket i sin tur ställer krav på det statistiska underlaget (WP.15, 2008).

Lyckligtvis inträffar relativt få olyckor vid transport av farligt gods, men detta innebär även en svårighet i att återfinna tillräckligt stort statistiskt underlag för att skatta ingående parametrar i händelseträdet. Ett alternativ är att använda expertskattningar. Detta innebär dock ytterligare svårigheter. Dels finns det ingen enskilt vedertagen bästa metod vid applicering av expertbedömningar, dels tillkommer aspekter gällande experters förmåga. Vidare är valet av studerade olycksscenarioer inte en självklarhet (Abrahamsson, 2002). I detta steg av en riskanalys uppstår dels osäkerheter kring huruvida samtliga tänkbara olycksscenarioer identifierats (Abrahamsson, 2002), dels behöver en avvägning genomföras angående rimlighet och detaljeringsgrad vid valet av studerade olycksscenarioer (Wp.15, 2008).

Denna problematik har uppmärksamats på såväl nationell som på internationell nivå. Exempelvis återfinns flera så kallat benchmark-studier där riskanalyser genomförts av olika grupper för samma referensobjekt med syfte att studera de skillnader som förekommer vid genomförandet av riskanalyser (Abrahamsson, 2002). 2001 presenterades en sådan studie vilken inkluderade grupper från sju olika länder i Europa vilka alla fick genomföra en riskanalys för en ammoniakanläggning (Abrahamsson, 2002). Resultatet från studien visade på en stor variation i skattning av frekvenser samt konsekvenser och påvisade de skillnader i metodval, modeller och antaganden som förekommer. Som ett svar på detta har flertalet riktlinjer utarbetats för att underlätta och i mer eller mindre grad standardisera genomförandet av en riskanalys av farligt gods. På internationell nivå kan nämnas UNECEs riktlinjer för riskanalys gällande transport av farligt gods (WP.15, 2008). Riktlinjen utgör en mer generell vägledning där exempelvis aspekter och parametrar vilka anses vara viktiga vid uppbyggnaden av ett händelseträd presenteras.

I ett tidigare examensarbete genomfört av Alvarsson och Jansson (2016) kartläggs skillnader i uppbyggnad av händelseträd för flertalet riskanalyser gällande transport av farligt gods i Sverige. Resultatet från studien visade på en mängd olika skillnader avseende bland annat valet av studerade olycksscenarioer och skattning av ingående parametrar. Därutöver saknade antaganden ofta förankring i vetenskaplig litteratur. Resultatet från en genomförd händelseträdsanalys utgör grunden för bedömning av personrisknivå. En variation i antaganden och bedömningar av sannolikheter kan således leda till att värderingen av risknivå skiljer sig åt beroende på vem som utför analysen. Detta är problematiskt då det innebär att olika projekt indirekt kommer värdera människors liv och hälsa på olika sätt. En underskattning av risken kan medföra en olämplig användning av mark med hänsyn till människors hälsa och säkerhet. Vidare kan en överskattning av risk på grund av osäkra parametrar och antaganden orsaka en mindre samhällsekonomiskt effektiv användning av mark. Den beräknade risknivån intill en transportled för farligt gods påverkar bland annat med vilket avstånd från transportleden exploatering av mark är möjlig samt vilka investeringar i riskreducerande åtgärder som anses nödvändiga.

Således finns en pågående problematik vid samhällsplaneringen i Sverige och denna har även uppmärksammats inom näringslivet utav de riskkonsulter vilka utför riskanalyserna, däribland vid AFRY (ÅF Pöry AB). AFRY har sett ett behov av att se över strukturen för händelseträdsanalys samt de parameterval och antaganden som förekommer. Dels mot bakgrund av att stora skillnader förekommer mellan olika riskanalyser, dels på grund av att de källor som ligger till grund för flera av de antaganden som förekommer härrör från så tidigt som på 1980-talet. Det är med grund i denna problematik som detta examensarbete utformas i samarbete med AFRY.

1.2 Mål och syfte

Vid detta examensarbete kommer strukturen för händelseträdsanalys gällande transport av farligt gods på väg att utredas. Med strukturen menas såväl uppbyggnaden av trädet med dess delscenarier samt kvantifieringen av ingående parametrar. Målet är att detta arbete ska diskutera för- och nackdelar samt rimlighet och konservatism med olika angreppssätt. Målet är också att, om möjligt, utgöra en grund för framtagande av en enhetlig händelseträdsmodell för att beräkna sannolikheten/frekvensen för olycksscenarier givet en olycka på väg involverande en specifik klass av farligt gods. Vidare är målsättningen att denna modell ska vara transparent samt ge möjlighet för anpassning efter plats- och projektspecifika förutsättningar. Syftet med arbetet är därigenom att sammanställa kunskapsläget vad gäller händelseträdsmetodik vid transport av farligt gods (klass 1, se avgränsningar) och ge möjlighet för vidare utveckling av nuvarande händelseträdsmodeller samt inkorporering av senare studier.

1.3 Avgränsningar

Farligt gods delas in i nio klasser, däribland klass 1, explosiva ämnen och föremål (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 2.1.1.1). En avgränsning av arbetet görs till denna klass av farligt gods. Detta val grundas i en diskussion med AFRY, vilka ser ett större behov av en utredning gällande denna klass då den bedöms förknippas med större osäkerheter i jämförelse med flera utav de övriga. Vidare genomförs en avgränsning till olyckor vid transport på väg. Detta görs med anledning av tillgängliga resurser, framförallt i form av tid. Av samma anledning studeras inte heller olyckor i tunnlar eller i hamnar. Vidare begränsas analysen till processen för själva transporten. Aktiviteter såsom lastning/lossning inkluderas således inte.

För den aktuella farligt gods klassen ska händelseträdet uppbyggnad och kvantifiering av ingående parametrar ses över. Här genomförs en avgränsning från ett antal parametrar vilka främst är aktuella vid konsekvensberäkningar. Exempelvis inkluderas inte parametrar gällande topografi, väder eller tid på dygnet för olyckan. Denna avgränsning genomförs framförallt med grund i en diskussion tillsammans med AFRY. Varvid det framgår att sådana parametrar i praktiken först inkluderas vid användning av programvara för konsekvensberäkningar. Vidare anses kunskapsläget gällande dessa parametrar och hur de ska inkluderas i en riskanalys vara stort i relation till övriga som inkluderas i detta arbete. Dessa

parametrar berör istället framförallt initierande händelser och efterföljande olycksförlopp. Valet av studerade parametrar tydliggörs i kapitel 4.

Vidare sker inte heller någon utredning av grundfrekvensen för den initierande händelsen, ”en olycka involverat farligt gods” inom ramen för detta examensarbete. Ett parallellt examensarbete som också handleds av AFRY genomförs med syfte att utreda beräkning av denna grundfrekvens. Målsättningen är att dessa arbeten ska komplettera varandra och tillsammans utgöra grund för en ny modell vid riskutredningar gällande transport av farligt gods.

1.4 Frågeställningar

Nedan presenteras de frågeställningar som utgjort grunden för arbetet. Den första frågeställningen är formulerad för att fånga in ett bredare perspektiv avseende beskrivning och kvantifiering av skadehändelser. Efterföljande frågeställning är istället formulerad för en explicit utredning av händelsetråd för klass 1. Slutligen ämnar den sista frågeställningen att besvara huruvida riskanalyser genomförda idag förhåller sig till de rekommendationer vilka identifieras genom litteraturen.

Vilka angreppssätt presenteras i den vetenskapliga och grå litteraturen gällande beskrivning och kvantifiering av skadehändelser till följd av en olycka med farligt gods?

Vilka val av olycksscenarier och kvantifiering av delhändelser är lämpliga att göra vid händelseträdsanalys för transport av explosivt gods (klass 1)?

Hur förhåller sig händelseträdsanalys för transport av explosivt gods (klass 1) på väg som genomförs i praktiken idag till de rekommendationer som mynnar ut från föregående frågeställning?

2. Teori

I detta avsnitt presenteras teori som anses aktuell för läsarens förståelse av det fortsatta arbetet.

2.1 Transport av farligt gods

Det har redan konstaterats att transport av farligt gods är en nödvändig, men potentiellt riskfylld verksamhet. Konsekvenserna till följd av en olycka vid transport av farligt gods kan se väldigt olika ut och beror på typen gods som transporteras. Farligt gods delas in i 9 olika klasser enligt regelverket ADR.

ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) är en europeisk överenskommelse som utarbetats av the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Överenskommelsen tillkom 1957 och trädde i kraft 1985 (UNECE, 2020). Sedan dess har regelverket ständigt uppdaterats. I Sverige ger sig ADR uttryck i föreskriften ADR-S 2019 (MSBFS 2018:5) från myndigheten för samhällsskydd och beredskaps (MSB).

I ADR-S (2019, MSBFS 2018:5) regleras exempelvis vilka mängder farligt gods som får transporteras samt vilka tankar och fordonstyper detta kräver. Därutöver återfinns de nio klasserna av farligt gods, vilka redovisas i Tabell 1 nedan. Vidare styrs transporten av farligt gods genom att Trafikverket utser de vägar som är lämpliga för genomfartstrafik med farligt gods, så kallat primära transportvägar (Trafikverket, 2017c). Sekundära transportvägar utgörs istället av vägar lämpliga för transporter mellan de primära transportlederna och mottagare respektive leverantör (Trafikverket, 2017c).

Tabell 1: De nio olika klasserna av farligt gods enligt ADR-S (MSBFS: 2018:5, 2.1.1.1)

Klass 1 Explosiva ämnen och föremål
Klass 2 Gaser
Klass 3 Brandfarliga vätskor
Klass 4.1 Brandfarliga fasta ämnen, självreaktiva ämnen, polymeriserande ämnen och fasta okänsliggjorda explosivämnen
Klass 4.2 Självantändande ämnen
Klass 4.3 Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten
Klass 5.1 Oxiderande ämnen
Klass 5.2 Organiska peroxider
Klass 6.1 Giftiga ämnen
Klass 6.2 Smittförande ämnen
Klass 7 Radioaktiva ämnen
Klass 8 Frätande ämnen
Klass 9 Övriga farliga ämnen och föremål

2.2 Risk

Begreppet risk används i såväl vardagliga sammanhang som inom finansvärlden och vid fysisk planering. Definitionen av risk kan därför variera betydligt och flera författare belyser vikten av att vara tydlig med vad som menas med risk inom ramen för ett arbete (se bland annat Aven, 2010 samt Boholm, 2018). Vid riskanalyser likt de gällande transport av farligt gods är den mest frekvent använda definitionen en sammanvägning, ofta produkt, av sannolikhet och konsekvens (Aven, 2010). Vidare avser konsekvensen någon oönskad händelse, vilken exempelvis kan utgöra en fara för människor eller miljö. Kaplan och Gerrick (1981) ger ett förslag till en kvantitativ definition av risk genom den så kallade risktripletten. Varvid följande tre frågor ska besvaras:

- Vad kan hända?
- Hur sannolikt är det?
- Vad blir konsekvenserna?

Ovan definition appliceras exempelvis i riktlinjer från The Working Party on the Transport of Dangerous Goods (WP. 15, 2008), en del av UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). Någon form av sammanvägning mellan sannolikhet och konsekvens är även den mest frekvent applicerade definitionen av Svenska myndigheter och organisationer (Boholm, 2018). Aven (2010) menar dock att denna definition är för smal då osäkerheters inverkan inte belyses i tillräcklig utsträckning. Det går att återfinna andra definitioner av risk i litteraturen. Läsaren hänvisas till Aven 2010 för vidare exempel.

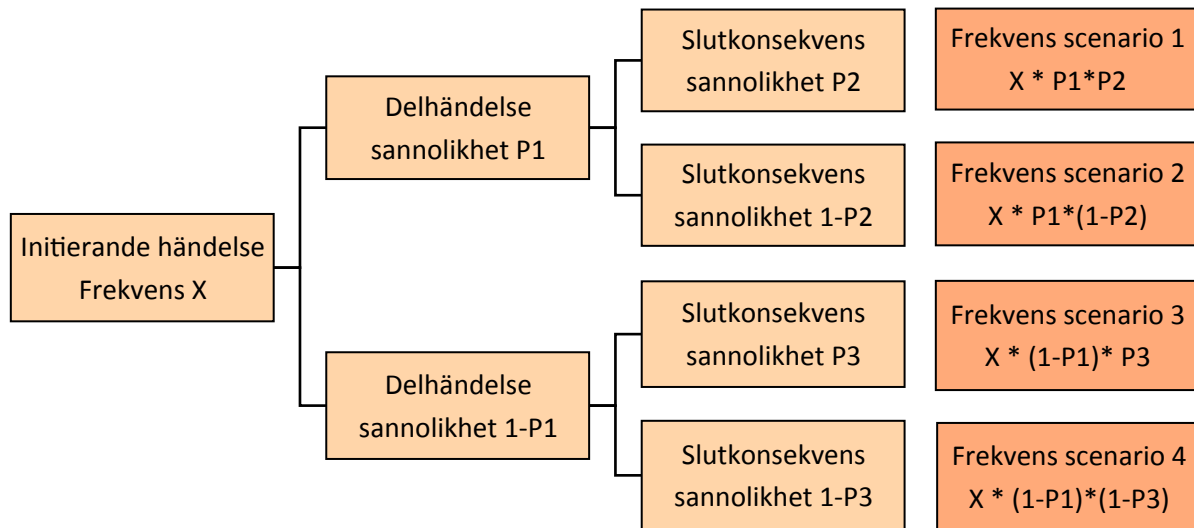
I detta arbete definieras risk genom risktripletten. Målet för arbetet inkluderar även att diskutera rimlighet och konservatism med olika angreppssätt. Varvid osäkerheter är nödvändiga att uppmärksamma. Förhoppningen är att i enlighet med Avens (2010) rekommendation belysa osäkerheter i större utsträckning än vad endast risktripletten gör. Någon konkret osäkerhetsanalys genomförs dock inte. En vidare redogörelse för hur osäkerheter hanteras i detta arbete återfinns i avsnitt 2.5.4.

2.3 Händelseträdsanalys

Händelseträdsanalys är ett väletablerat verktyg och används ofta vid genomförandet av en kvantitativ riskanalys, QRA (Abrahamsson, 2002). Metodiken används för att beskriva och kvantifiera möjliga händelseutvecklingar, scenarier, utifrån en utlösande händelse. Inom ramen för detta arbete utgörs den utlösande händelsen av en olycka som involverar transport av farligt gods. Beroende på en rad olika parametrar kan detta resultera i ett antal olika skadehändelser (olycksscenarier), exempelvis explosion till följd av en olycka som involverar transport av explosivämnen.

Genom olika delhändelser byggs förgreningar upp med utgångspunkt i den initierande händelsen. Varje delhändelse tilldelas en sannolikhet. Sannolikheter för de delhändelser som härrör från samma förgrening summeras alltid till 1, då de olika grenarna tillsammans ska beskriva alla möjliga utfall. Typiska delhändelser vid ett händelseträd gällande olycka med farligt gods kan exempelvis vara läckage/ej läckage eller litet/stort hål på en tank, givet ett läckage. Genom frekvensen för den utlösande händelsen och sannolikheten för respektive delhändelse kan frekvensen för respektive slutkonsekvens beräknas. Figur 1 visar ett

principiellt händelsetråd samt beräkningsgången vid skattning av frekvensen för respektive slutkonsekvens.



Figur 1: Principiellt händelsetråd. Frekvensen för den initierande händelsen och sannolikheten för respektive delhändelse möjliggör för beräkning av frekvensen för de olika scenarierna, slutkonsekvenserna givet en olycka.

2.4 Osäkerheter vid händelseträdsanalys

Vid händelseträdsanalys förekommer flera former av osäkerhet. Abrahamsson (2002) redogör i rapporten *Uncertainty in Quantitative Risk Analysis - Characterisation and Methods of Treatment* för osäkerheter i riskanalysens olika steg, däribland vid händelseträdsanalys.

Fullständighetsosäkerhet är den dominerande typen av osäkerhet vid identifiering av möjliga olycksscenarioer enligt Abrahamsson (2002). Vid uppbyggnad av ett händelsetråd råder osäkerhet kring huruvida identifieringen av olycksscenarioer, viktiga parametrar och aspekter är fullständig. Vidare behövs en prioritering eller samgruppering genomföras vid valet av olycksscenarioer för vidare analys. Detta för att erhålla en rimlig omfattning för den vidare riskanalysen. Följaktligen introduceras även modellosäkerhet, vilket avser osäkerhet avseende modellens, händelsetrådets, representation av verkligheten (Brissaud & Rosner, 2015). Alla modeller, såväl konceptuella som matematiska, är mer eller mindre en förenkling av verkligheten (Abrahamsson, 2002).

Utöver fullständighetsosäkerhet och modellosäkerhet förekommer osäkerhet vid skattning av parametrar i händelsetrådet (Abrahamsson, 2002). Parametrar kan skattas genom historisk data, expertskattningar eller genom en kombination av båda. Abrahamsson (2002) poängterar att de olika källorna till information kan medföra flera utmaningar till följd av exempelvis brister i statistiskt underlag samt svårigheter i att ta hänsyn till osäkerheter i expertskattningar.

2.5 Metoder för att hantera och representera osäkerheter

I följande delavsnitt redovisas en översiktlig beskrivning av några metoder för att hantera olika former av osäkerhet vid en riskanalys. Avslutningsvis redogörs även för hur osäkerheter hanteras inom ramen för detta arbete.

2.5.1 Fullständighetsosäkerhet

Fullständighetsosäkerhet introduceras vid identifieringen av olycksscenarier (Abrahamsson, 2002). Abrahamsson menar att denna form av osäkerhet bör hanteras genom att dels utgå från erfarenhet, vilken framförallt återfinns i olycksstatistik och rapportering av händelser vid exempelvis transport av farligt gods. Vidare bör identifieringsfasen grundas i en strukturerad metod för riskidentifiering (Abrahamsson, 2002). Någon vidare beskrivning eller kvantifiering av fullständighetsosäkerhet är däremot i princip inte möjligt eftersom att denna typ av osäkerhet utgörs av aspekter analytikern inte är medveten om (Brissaud & Rosner, 2015).

2.5.2 Modellosäkerhet

Abrahamsson (2002) presenterar flera möjliga praktiska tillvägagångsätt för att hantera modellosäkerhet. Ett alternativ är att föreskriva vilka modeller som ska användas vid en riskanalys. Ett exempel på detta tillvägagångsätt går att återfinna i Nederländerna där verksamheter som faller under förordningen BEVI, the External Safety (Establishment) Decree, kravställs att använda samma beräkningspaket vid riskanalyser, SAFETI-NL (RIVM; 2009). Genom ett sådant angreppssätt möjliggörs för enklare jämförelser mellan olika riskanalyser och organisationen eller personen bakom föreskriften tar i viss grad på sig ansvaret för modellens lämplighet (Abrahamsson, 2002). Å andra sidan kan sådana föreskrivna metoder, enligt Abrahamsson (2002), hämma utvecklingen av nya, bättre modeller.

Ett annat relativt vanligt angreppssätt är att applicera flera modeller och genom en jämförelse av respektive resultat styrka trovärdigheten i den applicerade modellen i riskanalysen (Abrahamsson, 2002). Därigenom ges även möjligheten att erhålla ett intervall, vilket innefattar resultatet från de olika modellerna. Detta intervall kan därefter appliceras vid den fortsatta analysen. Här finns dock en risk, enligt Abrahamsson (2002), för att de olika modellerna bygger på liknande antaganden och data. Således innebär liknande resultat från olika modeller inte nödvändigtvis att modellerna är korrekta.

2.5.3 Parametersäkerhet

Ett möjligt angreppssätt för att hantera parametersäkerhet är att utgå från så kallat worst-case scenarier. Här utgår analysen från värsta tänkbara scenario vid skattning av parametrar, vilket således resulterar i konservativa beräkningar av risk. Fördelen med metoden är enligt Abrahamsson (2002) att det konservativa angreppssättet tar höjd för osäkerheter. Det är dock sannolikt att resultatet blir allt för konservativt, vilket är en nackdel vid beslutsfattande (Abrahamsson, 2002). Abrahamsson (2002) poängterar att det är svårt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv att motivera riskreducerande åtgärder utifrån en väldigt konservativ beräkning av risk.

Ett liknande angreppssätt, då det även inkluderar värsta tänkbara scenario, är att representera osäkerheter genom intervallskattningar. Abrahamsson (2002) menar att denna metod är lämplig då kunskap finns gällande gränserna för vad en parameter kan anta för värden, men därutöver saknas mer detaljerad information. Med hjälp av denna information kan således ett värsta tänkbara- och ett bästa tänkbara scenario erhållas och den verkliga risknivån ligger någonstans däremellan. Att utgå från intervallskattningar vid en analys är fördelaktigt då det är en tydlig och simpel metod. Även detta angreppssätt riskerar dock att resultera i allt för konservativa beräkningar av risk och ett resultat mindre lämpligt som beslutsunderlag (Abrahamsson (2002)).

Ett tredje alternativ, vilket ämnar ge en bättre representation av risknivån är att utgå från bästa möjliga skattningar. Här är målet att representera det mest troliga scenariot. Således används punktskattningar för ingående parametrar, vilka principiellt utgör medelvärden eller median för vad parametern kan tänkas anta för värden. Abrahamsson (2002) poängterar dock att det bör kompletteras med information gällande osäkerheters inverkan på resultatet.

Om tillräckligt med information finns gällande de ingående parametrarna kan istället en applicering av sannolikhetsfördelningar genomföras. Här utgår analyser ofta från Bayesiansk sannolikhetslära för att kunna ta hänsyn till såväl statistisk data som subjektiva bedömningar (Abrahamsson, 2002). Metoden är fördelaktig då den tar hänsyn till osäkerheter samtidigt som ett allt för konservativt resultat undviks. Då parametrar tilldelas sannolikhetsfördelningar möjliggörs även för Monte-Carlo analys, vilket är ett exempel på en numerisk metod för osäkerhetsanalys (Abrahamsson, 2002).

Ovan beskrivna angreppssätt utgör exempel för hur osäkerheter kan hanteras och representeras vid en riskanalys. Ett annat vanligt använt verktyg är känslighetsanalys. Vid en känslighetsanalys utreds parametrars inverkan på resultatet. Därigenom kan de parametrar som är av störst betydelse för utfallet identifieras. Således erhålls vägledning angående vilka parametrar som är viktiga att prioritera vid en vidare reducering av osäkerheter. Någon mer detaljerad beskrivning av olika metoder för känslighetsanalys väljs att inte genomföras här. För vidare läsning, se exempelvis Abrahamsson, 2002 eller Strindberg & Svensson, 2018.

2.5.4 Hantering av osäkerheter i detta arbete

Vid uppbyggnad av händelseträdet i detta examensarbete kommer hänsyn behöva tas till osäkerhet, rimlighet och konservatism. Exempelvis krävs eftertanke vid val av parametrar vilka ska representera möjliga utfall utan att över- eller underskatta risken. Möjligheten att genomföra detta på ett bra sätt kommer till stor del avgöras av vilken information som är tillgänglig genom litteraturstudien. Dessa aspekter kommer att diskuteras i det vidare arbetet.

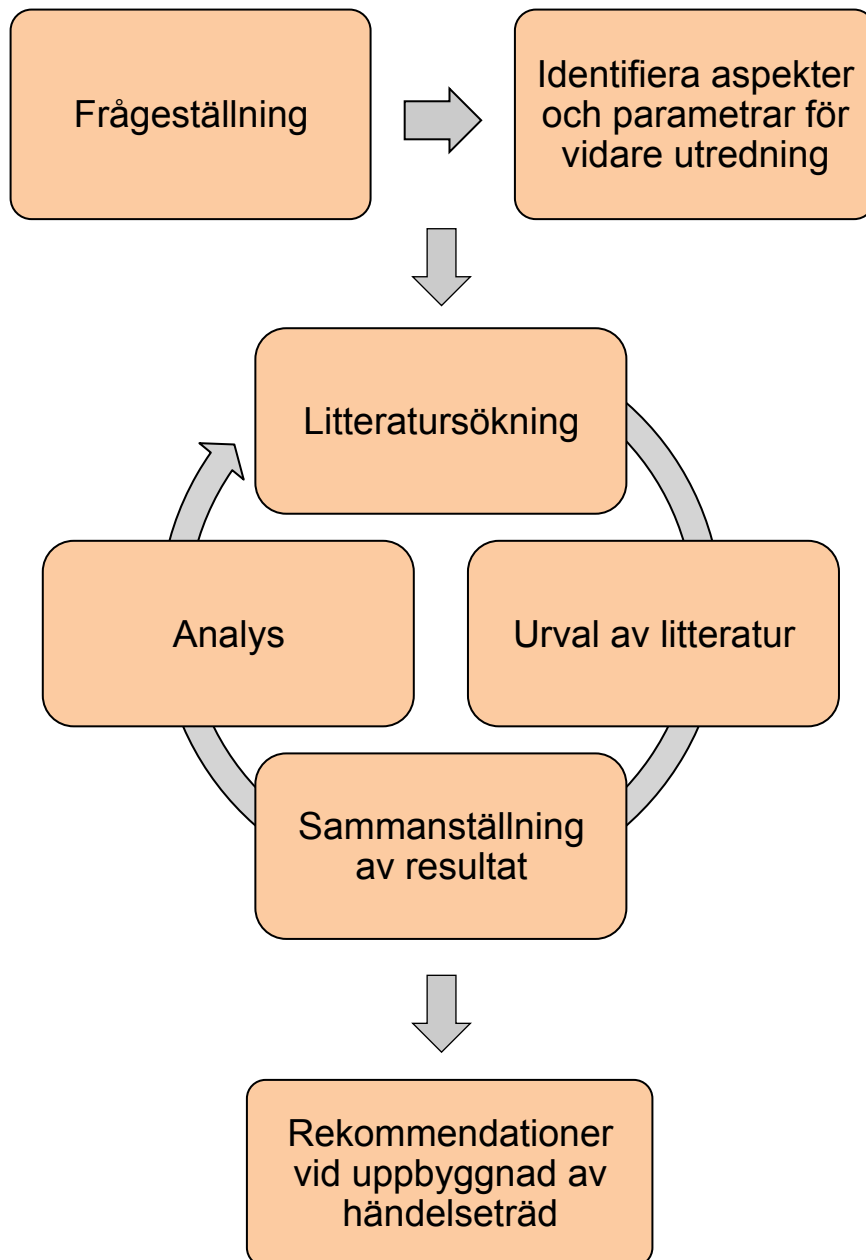
Därutöver inkluderar arbetet en jämförelse med hur riskanalyser genomförs idag. Genom denna jämförelse möjliggörs delvis för en hantering av osäkerhet gällande identifiering av scenarier och kvantifiering av parametrar. Till grund för jämförelsen ligger en sammanställning av tidigare genomförda riskanalyser utförd av Alvarsson och Jansson (2016). Här ingår dock inte någon direkt information avseende hur ingående parametrar

skattats i respektive riskanalyser. Varvid jämförelsen i större grad svarar på huruvida litteraturen överensstämmer med existerande modeller och skattningar.

Avslutningsvis genomförs även en Monte Carlo simulering samt känslighetsanalys för att identifiera vilka parametrar som har störst inverkan på resultatet. Genomförandet av denna analys beskrivs mer ingående i avsnittet för känslighetsanalysen.

3. Metod: litteraturstudie

Centralt för arbetet är genomförandet av en litteraturstudie med målsättningen att i den vetenskapliga och grå litteraturen identifiera olika angreppssätt vid beskrivning och kvantifiering av skadehändelser och dess konsekvenser. Litteraturstudien är utformad som en iterativ process, vilket möjliggör för sammanställning av resultat etappvis. I Figur 2 presenteras en översikt för arbetsprocessen.



Figur 2: Översikt för arbetsprocessen vid litteraturstudien.

Fokus för studien är litteratur applicerbar vid en riskanalys gällande transport av farligt gods på väg. Målet är att med hjälp av litteraturen identifiera olika tillvägagångsätt vid händelseträdsanalys gällande transport av farligt gods, framförallt avseende explosiva ämnen (klass 1). Syftet med litteraturstudien är att genom identifierad litteratur kunna styrka parameterval och uppbyggnad av händelseträd och därigenom kunna ge rekommendationer vid upprättandet av en enhetlig händelseträdsmodell.

Vid upprättandet av en metod för arbetet har det metodologiska ramverket för en ”scoping study” framtaget av Arksey och O’Malley (2005) varit vägledande. Därutöver har ytterligare vägledning erhållits från en artikel skriven av Levac, Colquhoun och O’Brian (2010), vilka ger förslag till vidare utveckling av ramverket. En ”scoping study” är en av flera metoder för att kartlägga och identifiera litteratur inom ett område av intresse. Till skillnad från en systematisk litteraturstudie tenderar en ”scoping study” att hantera bredare frågeställningar och typen av litteratur intressant för studien är generellt sätt mer varierad (Arksey & O’Malley, 2005). Eftersom att målet med litteraturstudien i detta arbete är att identifiera såväl vetenskaplig som grå litteratur, samt då ingen avgränsning till bestämda typer av analyser genomförs, bedöms ramverket presenterat av Arksey och O’Malley utgöra god vägledning.

3.1 Frågeställning

Frågeställning behöver fastställas och tydliggöras för att möjliggöra efterföljande steg i studien. I ramverket, presenterat av Arksey och O’Malley 2005, förespråkas en bred frågeställning. Levac Colquhoun och O’Brian (2010) rekommenderar att kombinera en bred frågeställning med tydliga avgränsningar. På så sätt tydliggörs fokus för studien och sökstrategin kan effektiviseras. Vidare bör frågeställningen ha en tydlig koppling till syftet/målet med studien.

Frågeställningar och övergripande avgränsningar för detta arbete har redan presenterats i avsnitt 1.4. Därutöver genomförs en inledande litteratursökning med syfte att identifiera aspekter och parametrar för vidare utredning (se nästa avsnitt). Därigenom avgränsas litteraturstudien ytterligare.

3.2 Identifiera aspekter och parametrar för vidare utredning

För att möjliggöra rätt fokus vid den vidare litteratursökningen utreds inledningsvis vilka aspekter och parametrar som är av betydelse vid uppbyggnad av ett händelseträd för transport av farligt gods. Här genomförs således en inledande litteratursökning med syfte att finna mer generella riktlinjer och rekommendationer avseende riskanalys och händelseträdsmetodik. Fokus för studien är riktlinjer från myndigheter och andra organ med beslutanderätt inom området för transport av farligt gods, på såväl nationell som internationell nivå.

3.3 Litteratursökning

I detta avsnitt redovisas de typer av källor vilka inkluderas i studien, valda sökord samt en sammanfattning av utfallet av litteratursökningen. En mer detaljerad redogörelse av litteratursökningen återfinns i bilaga 1.

Elektroniska databaser

Databasen Scopus (Elsevier) används vid sökning efter vetenskaplig litteratur. Scopus är den största abstract- och citationsdatabasen för peer-reviewed litteratur och täcker många olika ämnesområden (Lunds Universitet, 2019). Dessutom ges goda möjligheter för avancerade sökningar.

Google och Google Scholar används för att identifiera grå litteratur. Här möjliggörs exempelvis för identifiering av riktlinjer och rekommendationer från diverse organisationer och myndigheter.

Referenslistor

Genom att studera referenslistor i redan identifierad litteratur kan ytterligare litteratur identifieras. Detta genomförs även med syfte att säkerställa att ingen viktig litteratur uteblir från litteraturstudien. Ytterligare ett sådant verktyg är citationsanalys, men detta väljs att inte genomföras med hänsyn till mängden tillgängliga resurser, framförallt i form av tid.

Organisationer och myndigheter relevanta för ämnet

Myndigheter och organisationer vilka redan är kända för att ha en inflytelserik roll inom frågor rörande transport av farligt gods inkluderades som källor för litteraturstudien. Dessa identifieras dels genom egna sökningar, dels med hjälp utav handledning vid AFRY och LTH. Dessa innefattar:

Svenska myndigheter:

- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
- Trafikverket
- Sveriges kommuner och landsting (SKL)
- Länsstyrelser (Skåne och Hallands län)

Internationella och nationella myndigheter och organisationer:

- The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)
- The Health and Safety Executive (HSE) i Storbritannien
- The National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) i Nederländerna

Litteraturstudien inleds med identifiering av relevanta sökord i Scopus. Varvid följande sökord identifieras.

- Event tree
- Dangerous/hazardous
- Goods/substances/materials
- /freight
- Scenario/accident/consequence
- Event/sequence
- Model/modeling
- QRA/ Probabilistic risk analysis
- Risk assessment/analysis
- Approach/guideline/recommendation
- Transport/road

Genom applicering av dessa sökord identifieras litteratur vilken framförallt möjliggör för besvarandet av den första frågeställningen.

Vilka angreppssätt presenteras i den vetenskapliga och grå litteraturen gällande beskrivning och kvantifiering av skadehändelser till följd av en olycka med farligt gods?

För att besvara den andra frågeställningen gällande skadehändelser specifikt för explosivt gods genomförs ytterligare sökningar. Varvid följande sökord appliceras

- Truck
- Accident
- Fire, statistics
- Explosives
- Initiation
- Risk analysis/assessment
- Accident(s)
- Transport

Utfallet av litteratursökningen sammanfattas i tabellen nedan. I tabellen redovisas antalet artiklar/rapporter som analyserats djupare och som även inkluderats i resultatet. Här anges även vilken databas eller typ av källa som används vid identifieringen av respektive referens. Hur urvalet av artiklar/rapporter genomförs redovisas i nästa avsnitt. I bilaga 6 återfinns en förteckning över den litteratur som inkluderats för djupare analys.

Tabell 2: Utfallet av litteraturstudien. I tabellen redovisas antalet identifierade artiklar/rapporter som analyserats djupare och utgjort en del av resultatet. Litteraturen kategoriseras även utifrån vilken databas eller typ av källa som använts vid identifieringen av litteraturen.

Databas/typ av källa	Antal artiklar/rapporter för djupare analys/del av resultatet
Scopus	4
Google/Google Scholar	7
Organisation/myndighet	24

3.4 Urval av litteratur

Vid urvalet av artiklar, i såväl Scopus som i Google Scholar genomförs först ett urval genom titelanalys. Därefter analyseras abstract eller sammanfattning för respektive artikel. För samtliga artiklar aktuella för djupare analys studeras även referenslistor. I Scopus inkluderas omkring 300 artiklar vid urvalsprocessen och i Google Scholar 100 stycken. I Scopus genomförs en avgränsning till artiklar publicerade 2000 eller senare. Framförallt med hänsyn till tillgängliga resurser i form av tid, men även med målsättningen att identifiera litteratur som representerar forskningsfronten. I Google Scholar utgår litteratursökningen istället från sökträffar med högst relevans enligt databasen. Till grund för urvalet ligger följande inkluderings- och exkluderingskriterier:

Inkluderingskriterier

- Litteratur ska vara tillgänglig på engelska eller svenska
- Litteraturen ska vara tillgänglig i elektroniskt format för studenter på Lunds universitet.

- Litteraturen ska tillföra information gällande någon av frågeställningarna.
- Litteraturen ska vara applicerbar inom området för transport av farligt gods på väg.

Exkluderingskriterier

- Vid identifiering av riktlinjer från organisationer och myndigheter gällande kvantitativ riskanalys vid transport av farligt gods görs en avgränsning till riktlinjer publicerade inom EU. De riktlinjer som är specifika för transport av farligt gods ska vara applicerbara enligt regelverket ADR (UNECE, 2019), den internationella lagstiftningen inom EU gällande transport av farligt gods på väg. Denna avgränsning anses även nödvändig i förhållande till tillgängliga resurser, framförallt i form av tid.
- Exkluderar litteratur som främst eller endast fokuserar på miljörisker till följd av en olycka med farligt gods. Undantag görs om scenariomodellering sker likt vid en riskanalys med fokus på negativa konsekvenser för människor liv och hälsa.
- Exkluderar artiklar med primärt fokus på lokalisering/optimering av transportvägar för farligt gods. Vid en översiktlig läsning av sådana artiklar konstateras att ett fokus på händelseutveckling saknas och dessa artiklar bedöms därför inte vara aktuella för arbetet.
- Exkluderar artiklar med primärt fokus på nödlägeshantering och planering.

3.5 Sammanställning av resultat och analys

Resultatet från litteraturstudien sammanställs genom att utgå från identifieringen av viktiga parametrar och aspekter i händelseträdet.

För respektive parameter genomförs därefter en jämförelse med hur riskanalyser genomförs idag. Till grund för denna jämförelse ligger den tidigare genomförda jämförelsestudien av Alvarsson och Jansson (2016). Alvarsson och Janssons jämförelsestudie inkluderar 15 probabilistiska riskanalyser, publicerade 2010 eller senare, från tre olika storstadsregioner i Sverige. Vidare har samtliga riskanalyser genomförts för primära eller rekommenderade vägar för farligt gods. Här inkluderas dessutom beräkningsbilagan till RIKTSAM, länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer avseende transport av farligt gods från 2007.

3.6 Rekommendationer vid uppbyggnad av händelsetråd

För respektive parameter och aspekt i händelseträdet redogörs för de rekommendationer möjliga utifrån den identifierade litteraturen. Avslutningsvis sammanställs resultatet genom en presentation av förslag till händelsetråd samt kvantifiering av ingående parametrar/delhändelser (avsnitt 5.5).

4. Viktiga aspekter och parametrar för vidare utredning

The Working Party on the Transport of Dangerous Goods (WP. 15), en del av UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) tog 2008 fram generella riktlinjer gällande riskanalys för transport av farligt gods på väg. Syftet med riktlinjen är att erhålla ett mer enhetligt tillvägagångssätt vid riskanalys genomförda av länder vilka följer regelverket ADR (UNECE, 2019). Samtliga medlemsstater rekommenderas att utgå från denna riktlinje. Det poängteras dock att skillnader mellan medlemsstaterna avseende exempelvis topografi, klimat, nationella regelverk och tekniska skillnader avseende fordonen vid transport medför att beräkningarna kommer se olika ut. Därmed presenteras i riktlinjen inga detaljerade beräkningar utan en mer generell vägledning.

Vid beskrivning av olika scenarier och beräkning av risk anses det bästa tillvägagångssättet vara att applicera händelseträdsanalys (WP. 15, 2008). Några specifika beräkningar presenteras inte, men däremot fastställs vilka faktorer som bör tas hänsyn till vid uppbyggnad av händelseträd, vilka presenteras nedan.

Vägnätverk

- Vägtyp
- Hastighetsbegränsning
- Installerade säkerhetsbarriärer (exempelvis vägräcken och trafikljus)
- Tunnlar
- Järnvägs korsningar

Initierande händelse

- Kollision
- Påkörning bakifrån
- Omkullvältning/Vältolycka
- Kollision med andra objekt
- Brand (kan även vara en konsekvens till följd utav en annan utlösande händelse)
- Plötsligt tankfel

Fordon och trafik

- Typer av transporterat gods
- Fordon och tanktyper
- Specifika säkerhetsåtgärder redan implementerade
- Tiden för transport(dag/natt)

Scenario för läckage

- Plötsligt/kontinuerligt utsläpp
- Komplette/ej komplett utsläpp

Det går även att återfinna vägledning vid en riskanalys gällande transport av farligt gods på nationell nivå. I Nederländerna har säkerhetspolicys med kvantitativa riskkriterier utvecklats och implementerats sedan tidigt 80- tal (Bottelberghs, 2000). Sedan dess har Nederländerna kommit långt i sitt riskarbete och även influerat arbetet som sker i andra länder genom de verktyg och riktlinjer som tagits fram för genomförandet av en QRA.

Däribland återfinns en serie rapporter publicerade av kommittén för skydd mot olyckor i Nederländerna, CPR (the Committee for the Prevention of Disasters). Här ingår 'Red Book', 'Yellow Book', 'Green Book' samt 'Purple Book' (Ministry of VROM, 2005abcd). Genom dessa publikationer har tillvägagångssättet vid en QRA standardiserats genom exempelvis vilka delscenarier och slutkonsekvenser som ingår i analysen samt genom diverse parameterintervall. På senare år har även ett beräkningspaket, SAFETI-NL, utvecklats, för att

ytterligare säkerställa att QRAs genomförs med samma antaganden, modeller och information.

I 'Purple Book' (Ministry of Vrom, 2005d) presenteras vilken information som anses nödvändig vid en riskanalys avseende transport av farligt gods på väg, vilket inkluderar:

- En beskrivning av transportströmmar (antalet årliga lastade transportenheter per ämne eller kategori, under dag respektive natt)
- En beskrivning av transportenheterna (typisk transporterad mängd)
- En beskrivning av transportsträckan (vägtyp, hinder)
- Olycksfrekvenser (för den initierande händelsen)
- En beskrivning av antändningskällor (aktuellt vid spridning av brandfarlig gas)
- Egenskaper hos det transporterade (representativa) ämnet
- Meteorologisk data
- Information angående populationen i närheten av transportsträckan

Information angående populationen är aktuellt vid konsekvensberäkning och är således inte aktuellt för händelseträdet i sig. Vidare utreds inte frekvensen för den initierande händelsen inom ramen för detta arbete. Övriga aspekter och parametrar bedöms dock vara aktuella vid uppbyggnad av ett händelsetråd och de sammanfaller till övervägande del med de faktorer vilka anses vara viktiga enligt The Working Party on the Transport of Dangerous Goods (WP. 15, 2008).

Vidare konstateras att riktlinjerna i 'Purple Book' är generella och gäller för öppna situationer (Ministry of Vrom, 2005d). Med detta menas att de gäller för vägsträckor där inga hinder, såsom tunnlar eller ljudbarriärer, förekommer. Då den analyserade vägsträckan inte är så kallat öppen, behöver hänsyn tas till platsspecifika förutsättningar. Hur detta ska göras redovisas inte kvantitativt i 'Purple Book', men kvalitativa resonemang presenteras. Den generella rekommendationen är att sådana platsspecifika hinder åtminstone ska vara en kvalitativ del av riskanalysen. Aktuellt för händelseträdsanalysen är hinders inverkan på exempelvis sannolikheten för läckage eller olika skadehändelser.

I Sverige finns ingen standardiserad metod för riskanalys gällande transport av farligt gods likt i Nederländerna. Däremot har en del kommuner, landsting och länsstyrelser tagit fram riktlinjer, vilka exempelvis redogör för rekommenderade skyddsavstånd intill transportleder och vilka risker som transport av farligt gods innebär. Här återfinns bland annat en handbok för kommuners planering gällande transport av farligt gods, framtagen av Sveriges kommuner och landsting (SKL) 2012. Utöver handboken från SKL (2012) återfinns exempelvis riktlinjen RIKTSAM, Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer från 2007 och riktlinjen från länsstyrelsen i Hallands län från 2011.

Vid en genomläsning av dessa dokument framgår att de till övervägande del stämmer överens med riktlinjen från The Working Party on the Transport of Dangerous Goods (WP. 15, 2008). I de olika riktlinjerna poängteras bland annat betydelsen av att ta hänsyn till det transporterade godsets egenskaper samt platsspecifika förutsättningar, såsom vägars utformning.

I RIKTSAM belyses även vikten av att ta hänsyn till den mänskliga faktorn vid en riskanalys, vilket enligt författarna inte alltid görs vid en kvantitativ riskanalys.

4.1 Parametrar valda för vidare utredning

I ovan presenterad litteratur framgår att flera aspekter och parametrar vilka poängterats vara viktiga är gemensamma för de olika riktlinjerna. Vid valet av parametrar för vidare utredning exkluderas sådana vilka framförallt är aktuella vid fortsatta konsekvensberäkningar, såsom topografi, väderförhållanden, tid på dygnet eller populationen i området. Ett undantag görs dock genom att inkludera parametern *transporterade mängder*, alltså mängden gods per transportenhet. Denna inkluderas efter en diskussion med handledare vid AFRY som ser ett behov av att utreda denna parameter. Dessutom har hänsyn tagits till övriga avgränsningar för arbetet. Varvid exempelvis endast transport på väg studeras. Därutöver inkluderas inte heller någon utredning angående hur händelseträden bör utformas då vägtunnlar förekommer. Eftersom att händelseträden gäller för explosivt gods är inte heller läckage aktuellt, vilket tydligare framgår i senare avsnitt (se exempelvis avsnitt 5.2.2). Genom liknande resonemang inkluderas inte någon utredning avseende antändningskällor eftersom att ingen brandfarlig gas förväntas förekomma vid en olycka involverat klass 1. Parametrar och aspekter för vidare utredning presenteras i Tabell 3 nedan.

Tabell 3: Aspekter och parametrar vilka bedömts viktiga för vidare utredning vid uppbyggnad av händelseträd.

Det transporterade ämnet	Plats- och projektspecifika förutsättningar ¹
<ul style="list-style-type: none"> • Ämnesspecifika egenskaper • Indelning i riskgrupper 	<ul style="list-style-type: none"> • Hastighet och vägtyp • Riskreducerande åtgärder
Olycksscenarier	Fordon och trafik
<ul style="list-style-type: none"> • Initierande händelse • Möjliga skadehändelser • Slutkonsekvens • Kvantifiering av delhändelser 	<ul style="list-style-type: none"> • Fordon och tanktyper (säkerhetsåtgärder) • Transporterade mängder

¹ Genom litteraturstudien avseende plats- och projektspecifika förutsättningar framgår att uppbyggnaden av händelseträden i detta arbete inte förändras till följd av sådana faktorer. Sådana förutsättningar kan först tas hänsyn till i enskilda projekt. Resultatet bedöms mindre centralt för arbetet, men för den som är intresserad redovisas denna del av litteraturstudien i bilaga 3. Vidare bedöms en ingående utredning av sådana parametrar allt för tidskrävande i relation till resurser för detta examensarbete.

5. Händelseträäd: Explosiva ämnen och föremål

I detta avsnitt presenteras och diskuteras möjliga tillvägagångsätt vid uppbyggnad av händelseträäd och kvantifiering av ingående parametrar för klass 1, explosiva ämnen och föremål. Till grund för resultatet ligger den genomförda litteraturstudien. Avsnittet är uppdelat i olika delavsnitt utifrån den genomförda identifieringen av viktiga aspekter och parametrar för vidare utredning, se Tabell 3. I respektive delavsnitt presenteras inledningsvis resultat från litteraturstudien, därefter följer en jämförelse mot hur riskanalyser genomförs idag. Slutligen presenteras rekommendationer vid uppbyggnad av händelseträäd för klass 1 utifrån informationen erhållen från litteraturstudien.

5.1 Det transporterade ämnet

I detta avsnitt presenteras explosiva ämnen och föremål mer djupgående med avseende på dess egenskaper samt hur dessa kan representeras vid en riskanalys genom en indelning i riskgrupper.

5.1.1 Ämnesspecifika egenskaper

Explosiva ämnen och föremål tillhör klass 1 och omfattar enligt ADR-S 2019 (MSBFS 2018:5) explosiva ämnen, pyrotekniska ämnen, explosiva föremål samt övriga ämnen och föremål som kan framkalla sådana effekter. Explosiva ämnen kan vara i såväl flytande som fast form och har sådana egenskaper att ämnet, eller blandningen, själv kan orsaka en explosion (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 2.2.1.1.1). Ämnen som i sig själva inte är explosiva, men däremot kan orsaka en explosion genom att bilda en explosiv blandning av gas, ånga eller damm tillhör således inte klass 1 (ADR-S 2019a, MSBFS 2018:5, 2.2.1.1.1). Explosiva ämnen och föremål innefattar exempelvis sprängämnen, tändämnen och ammunition. Pyrotekniska ämnen framställs med syfte att framkalla värme, ljus, ljud, gas eller rök (MSB, 2019a; ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 2.2.1.1.1). Detta innefattar exempelvis fyrverkerier och pyroteknisk utrustning för fordon, exempelvis krockkuddar.

Explosiva ämnen och föremål kan antingen verka genom detonation eller genom deflagration. Vid en detonation är förbränningshastigheten över ljudets hastighet, medan den är lägre än ljudets hastighet vid en deflagration (Larsson & Ohlén, 2011). En detonation startas genom en stöt. Denna stöt behöver uppgå i hastigheter uppåt flera 100 m/s. En mindre stöt, från exempelvis slaget med en hammare räcker således inte för att initiera en detonation (Larsson & Ohlén, 2011). För att erhålla nödvändig anslagshastighet vid användning av sprängämnen används tändämnen, exempelvis Blyazid, vilket är vanligast förekommande (Larsson & Ohlén, 2011). Blyazid detonerar spontant vid kontakt med koppar, zink eller brons och verkar även i fuktigt tillstånd. Vidare kan det även detonera vid stöt eller friktion. Effekten av en detonation, en tryckvåg på 2000-9000 m/s, utnyttjas exempelvis vid sprängning av berg samt inom militären.

Deflagration är en betydligt långsammare förbränning med en hastighet omkring 1-10 mm/s för fasta ämnen och 0.1-1 m/s för gasformiga ämnen (Larsson & Ohlén, 2011). Reaktionen startar istället genom värme och kan således initieras till följd av en brand. Reaktionen kan

dock övergå till en detonation till följd av ökning av till exempel tryck och värme (Larsson & Ohlén, 2011), varvid risken för detonation är viktig att hantera. Deflagration utnyttjas för att alstra gastryck, ljus, rök eller värme (Larsson & Ohlén, 2011). För att starta en önskad deflagration används pyrotekniska satser (Larsson & Ohlén, 2011). Dessa kan framställas för att skapa varierade effekter. Exempelvis ger lyssatser de effekter som erhålls från fyrverkerier medan röksatser, vilka alstrar rök och används därför exempelvis inom militären.

Klass 1 delas in i 6 olika riskgrupper beroende på deras egenskaper och potentiella skadeverkan. I Tabell 4 nedan redovisas definitionen för de olika grupperna enligt ADR-S 2019 (MSBFS 2018:5, 2.2.1.1.5).

Tabell 4: Riskgrupper för explosiva ämnen och föremål klass 1, enligt ADR- S 2019 (MSBFS 2018:5, 2.2.1.1.5)

Explosiva ämnen: Riskgrupp	Beskrivning
1.1	Ämnen och föremål med risk för massexplosion (en massexplosion är en explosion som påverkar så gott som hela lasten praktiskt taget samtidigt).
1.2	Ämnen och föremål med risk för splitter och kaststycken men inte för massexplosion
1.3	Ämnen och föremål med risk för brand, och mindre risk för tryckvåg, splitter och kaststycken men inte för massexplosion, (a) vars förbränning ger upphov till avsevärd strålningsvärme, eller (b) vilka brinner efter varandra och ger upphov till mindre verkningar genom tryckvåg eller splitter och kaststycken.
1.4	Ämnen och föremål med endast obetydlig explosionsrisk i händelse av antändning eller initiering under transport. Verkningarna är i stort sett begränsade till kollit och det kan inte förväntas splitter av betydande storlek eller utbredning. Brand utifrån får inte förorsaka praktiskt taget samtidig explosion av så gott som hela kollits innehåll.
1.5	Mycket okänsliga ämnen med risk för massexplosion men med mycket liten sannolikhet för initiering eller för övergång från brand till detonation under normala transportförhållanden. Ett minimikrav är att de inte får explodera vid test med yttre brand
1.6	Extremt okänsliga föremål utan risk för massexplosion. Föremålen innehåller till övervägande del extremt okänsliga ämnen och där sannolikheten för oavsiktlig antändning eller utbredning är försumbar. Anm Faran med föremål i riskgrupp 1.6 är begränsad till explosion av enstaka föremål.

5.1.2 Indelning i riskgrupper

I förgående avsnitt framgår att explosiva ämnen och föremål skiljer sig åt avseende potentiell skadeverkan samt sannolikhet för initiering. The Working Party on the Transport of Dangerous Goods (WP. 15, 2008) poängterar att skillnaden mellan olika typer av farligt gods är nödvändiga att ta hänsyn till för att erhålla ett lämpligt beslutsunderlag. För att genomföra detta rekommenderas en gruppering av farligt gods med grund i ADR klasserna. Vidare bör kategoriseringen av farligt gods ta hänsyn till potentiella händelseutvecklingar beroende på

vilket gods som är involverat (WP. 15, 2008). Dessutom rekommenderas att i analysen undvika en allt för förenklad gruppering. Vad som innebär en allt för förenklad gruppering framgår dock inte.

Ett intressant tillvägagångsätt presenteras i en utredning, först publicerad 1995, på uppdrag av *the Advisory Committee on Dangerous Substances (ACDS)*, en del av *the Health and Safety Commission (HSE)* i Storbritannien. Syftet med arbetet var att utreda riskerna till följd av hanteringen av explosiva varor i individuella hamnar samt på nationell nivå. Här bedöms att explosiva ämnen och föremål inte kan behandlas som en homogen grupp ämnen och artiklar på grund utav deras olika egenskaper. Exempelvis i form av skadeverkan och känslighet.

Vid grupperingen av explosiva ämnen och föremål utgick arbetet från 3 identifierade riskfaktorer (HSE, 1995). Dels togs hänsyn till godsets känslighet avseende initiering till följd av stöt och brand, dels till godsets potentiella skadeverkan.

Kategoriseringen avseende potentiell skadeverkan baserades i studien (HSE, 1995) på riskgrupperna i ADR, se Tabell 4. Här genomfördes dock en ytterligare indelning genom att dela upp klass 1.1 och klass 1.3 i explosiva ämnen respektive explosiva föremål. Detta val motiverades genom skillnaden i konsekvenser som kan förväntas mellan ämnen och föremål (HSE, 1995). Såväl ämnen som föremål tillhörande klass 1.1 innebär en risk för massexplosion. Vid en olycka involverat explosiva föremål kan dock ytterligare skadeverkan uppstå då föremålets hölje kan skjutas ut i hög hastighet och därmed skada omgivningen ytterligare. Vad gäller klass 1.3, vilken förknippas med en risk för brand, fördes ett liknande resonemang. Ämnen tillhörande klass 1.3 kan nämligen enligt författarna (HSE, 1995) med större sannolikhet förväntas medföra en så kallad ideal brand. En ideal brand innebär att i stort sett hela lasten brinner samtidigt och förloppet varar i endast några sekunder.

Vidare togs beslutet att exkludera klass 1.4, 1.5 och 1.6 från studien (HSE, 1995). Klass 1.4 exkluderades genom motiveringen att denna riskgrupp inte förväntas medföra någon större skadeverkan. Klass 1.5 och 1.6 exkluderades istället på grund utav den låga sannolikheten för initiering. Dessutom konstaterades att någon transport av klass 1.5 och 1.6 inte ägde rum vid hamnar i Storbritannien vid tiden för studien (HSE, 1995).

Vidare genomfördes en kategorisering av explosiva ämnen och föremål avseende dess känslighet för stötinitiering (HSE, 1995). Stötinitiering bedömdes vara aktuellt eftersom att explosivt gods förväntades vara involverat dels i trafikolyckor, dels i olyckor i samband med hantering av godset vid hamnar. Exempelvis genomförs lyft av gods med kranar och det finns då en risk för fall. Här ansågs en uppdelning i tre olika riskgrupper lämplig, I1, I2 och I3, där I1 utgör den mest känsliga typen av gods. Exempelvis raketmotorer och ammunition innehållande raketmotorer inkluderades i denna riskgrupp och förekom vid hamnarna i Storbritannien under tiden för studien (HSE, 1995). Majoriteten av det explosiva godset faller dock inom kategorin I2.

Slutligen genomfördes en gruppering med hänsyn till godsets känslighet för brandinitierad explosion (HSE, 1995). Sannolikheten för explosion till följd av brand bedömdes vara betydligt högre än den till följd av en stöt (HSE, 1995). Sammanfattningsvis definierades riskgrupp 1 (F1) som explosiva varor vilka mest troligtvis resulterar i en explosion vid brand.

Riskgrupp 2 (F2) definierades som sådana explosiva varor vilka med låg sannolikhet resulterar i explosion vid brand.

Genom ovan resonemang kom utredningen (HSE, 1995) fram till 10 olika riskgrupper, vilka togs med för vidare analys. Dessa sammanfattas i Tabell 5 nedan.

Tabell 5: 10 riskgrupper vilka är en del av en utredning publicerad av the Health and Safety Executive (1995) i Storbritannien angående risken från hantering av explosivt gods i hamnar.

ADR- klass 1.1			ADR-klass 1.2		ADR-klass 1.3				
Föremål			Ämnen		Föremål		Föremål		Ämnen
I1, F1	I2, F1	I3, F1	I2, F1	I2, F2	I1, F1	I2, F1	I1, F1	I2, F1	I2, F1

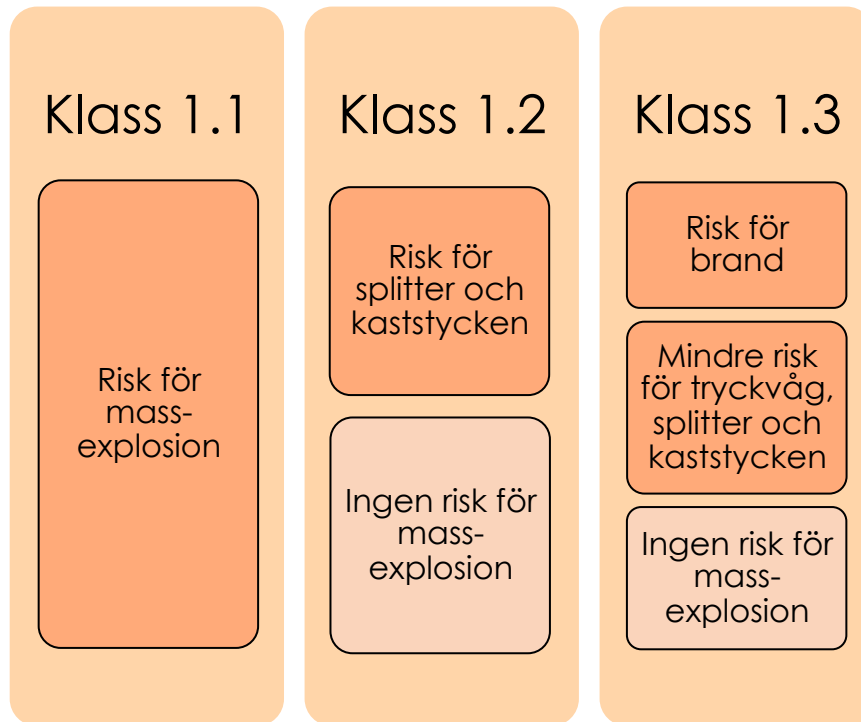
HSEs indelning i olika riskgrupper är mycket detaljerad och det går att återfinna mycket mer förenklade angreppssätt i litteraturen. Däribland återfinns ett framtaget underlag för samhällsplanering vid transport av farligt gods på vägnätet (Pär Envall, 1998). Vägledningen har tagits fram med Räddningsverket och Vägverket som huvudansvariga. Här konstaterar författaren att endast klass 1.1 kan ge konsekvenser för människor på avstånd längre än några 10-tal meter. Därmed bedöms endast klass 1.1 vara aktuell vid en riskanalys. HSE (1995) bedömer visserligen också att exempelvis klass 1.2 endast kan ge dödliga skador upp till ungefär 25m. Detta avstånd gäller dock vid sådana förhållanden då det explosiva ämnet eller föremålet fungerar som tänkt. Vid förhållanden för en olycka bedöms att splitter och kaststycken kan verka på betydligt längre avstånd (HSE, 1995).

Jämförelse med hur riskanalyser genomförs i Sverige

I de studerade analyserna av Alvarsson och Jansson (2016) väljer samtliga riskanalyser, vilka studerar klass 1, att endast inkludera en massexplosion involverat klass 1.1 i analysen. Således tas ingen hänsyn till de olika riskgruppernas egenskaper.

Rekommendationer utifrån litteraturen

Utifrån litteraturen presenterad ovan bedöms det lämpligt att inkludera riskgrupperna 1.1, 1.2 samt 1.3 i händelseträdet för klass 1 i de fall då transporter av samtliga tre riskgrupper förväntas förekomma. Skillnader i egenskaper mellan dessa klasser medför nämligen att konsekvensen till följd av en olycka kan se betydligt olika ut. Möjligtvis kan klass 1.2 och 1.3 bortses ifrån i de fall där inga människor förväntas befinna sig i vägens närmiljö eftersom att konsekvensavståndet för dessa klasser är betydligt kortare (några tiotal meter) i jämförelse med klass 1.1 (kan överskrida 100 m). Potentiell skadeverkan till följd av en olycka involverat respektive riskgrupp sammanfattas i figuren nedan.



Figur 3: Potentiell skadeverkan till följd av en olycka involverat klass 1.1, 1.2 eller 1.3.

Genom att ta hänsyn till de tre riskgrupperna möjliggörs för en mer rimlig konsekvensberäkning i jämförelse med att endast inkludera klass 1.1 likt i riskanalyserna studerade av Alvarsson och Jansson (2016). Beroende på antaganden i en riskanalys kan valet att bortse från riskgrupp 1.2 och 1.3 leda till en under- eller överskattning av risken. Om allt explosivt gods som transporteras antas bestå av klass 1.1 leder riskanalysen sannolikt till en överskattning av risken. Riskgrupp 1.2 och 1.3 kan, som sagt, förväntas medföra lindrigare konsekvenser. Om mängden gods tillhörande klass 1.2 och 1.3 istället bortses ifrån helt kan risken istället underskattas. Huruvida risknivån under- eller överskattas i någon betydande utsträckning beror dock på mängden transporterat gods av respektive riskgrupp samt på platsspecifika förutsättningar, enligt ovan. Här behöver således en avvägning göras från fall till fall.

Uppdelningen i transporter utifrån riskgrupp bygger dock på antagandet att transporter kan representeras genom laster bestående av endast en av de aktuella riskgrupperna. Genom litteratursökningen har det inte kunnat fastställas huruvida klass 1.2 och 1.3 vanligen transporteras var för sig eller i samlastning med gods tillhörande någon annan riskgrupp, såsom klass 1.1. Varvid det skulle kunna vara motiverat att genom ett konservativt angreppssätt utgå från att samtliga laster utgörs av massexplosiva ämnen och föremål (klass 1.1.). Vad som däremot framgår från ADR-S 2019 (MSBFS 2018:5, 7.5.2.2) är att samlastning får ske i flera fall. Här rekommenderas därför en vidare undersökning angående hur lasten vanligen brukar se ut. Endast utifrån litteraturen bedöms det dock rimligt att beakta risken kopplat till transport av samtliga tre riskgrupper 1.1-1.3.

Resterande riskgrupper, 1.4-1.6, kan i de flesta fall exkluderas med bakgrund av egenskaperna för dessa riskgrupper. Klass 1.4 innebär enligt grupperingen i ADR-S 2019 (MSBFS 2018:5,

2.2.1.1.5) endast en obetydlig risk för massexplosion. Dessutom är skadeverkan begränsad till kollit. Vidare är ämnena i klass 1.5 och 1.6 mycket okänsliga respektive extremt okänsliga avseende initiering. Det kan dock vara aktuellt att undersöka dessa klasser mer i detalj ifall plats- eller projektspecifik information gör gällande att dessa klasser transporteras i större utsträckning.

HSE (1995) väljer att genomföra en än mer detaljerad uppdelning i 10 olika riskgrupper med klass 1.1-1.3 som grund. Angreppssättet är mycket detaljerat, vilket kan motiveras genom att syftet med HSEs utredning var att endast analysera risken till följd av hantering av explosivt gods och inget annat. Möjligheten att genomföra något liknande i andra riskanalyser beror på mängden data och information som är tillgänglig, mängden resurser samt på syftet och målet med analysen. Ett händelsetråd vilket inkluderar samtliga 10 riskgrupper i Tabell 4 ovan kan bli ohanterligt och mer detaljerat än nödvändigt. Här krävs således en avvägning mellan en rimlig mängd scenarier och en uppbyggnad av händelsetrådet som på ett bra sätt representerar möjliga olycksscenarier och konsekvenser.

5.2 Olycksscenarier

I följande avsnitt beskrivs och diskuteras möjliga olycksscenarier vid en olycka involverat explosiva ämnen och föremål på väg.

5.2.1 Slutkonsekvens

Slutkonsekvensen till följd av en olycka involverat klass 1 har redan till stor del presenterats och diskuterats i föregående avsnitt om indelning i riskgrupper. Dessutom konstaterades att främst riskgrupp 1.1-1.3 är av intresse för vidare utredning. Slutkonsekvenserna för dessa riskgrupper framgår i Figur 3, vilket inkluderar massexplosion, brand samt splitter och kaststycken.

För slutkonsekvensen massexplosion är det möjligt att genomföra en uppdelning i explosioner av olika storlek. Detta tillvägagångssätt appliceras bland annat i HSEs riskanalys (1995). Motsvarande angreppssätt appliceras även vid konsekvensberäkningar för klass 1.3 (HSE, 1999).

Vid konsekvensberäkningar gällande klass 1.2 genomförs dock inte någon uppdelning avseende olika storlekar på lasten (HSE, 1995). Vid en olycka involverat endast gods tillhörande klass 1.2 förväntas inte någon massexplosion. Händelseförloppet förväntas istället inledas med att någon artikel initierar (exploderar). Varvid en brand startar och därmed initierar ytterligare explosioner. Mängden gods påverkar således inte storleken på konsekvensavståndet, som för klass 1.1 och 1.3. En större mängd gods innebär istället ett längre olycksförlopp bestående av flera explosioner där splitter och kaststycken utgör den primära faran. Författarna menar att eventuella dödsfall kan förväntas inträffa till följd av den inledande explosionen. Därefter antas att personer i området hinner ta skydd innan någon efterföljande explosion inträffar.

Ytterligare en intressant aspekt presenteras av Davies (1990). Författaren menar att explosivt gods mer troligt reagerar genom deflagration än genom detonation vid fordonsbränder. Till

grund för antagandet ligger tidigare genomförda tester vilka visat att då förpackningar och liknande förlorar sin integritet motverkas en övergång från deflagration till detonation. Dessutom transporteras sällan kommersiellt explosivt gods i inneslutande förpackningar (Davies, 1990).

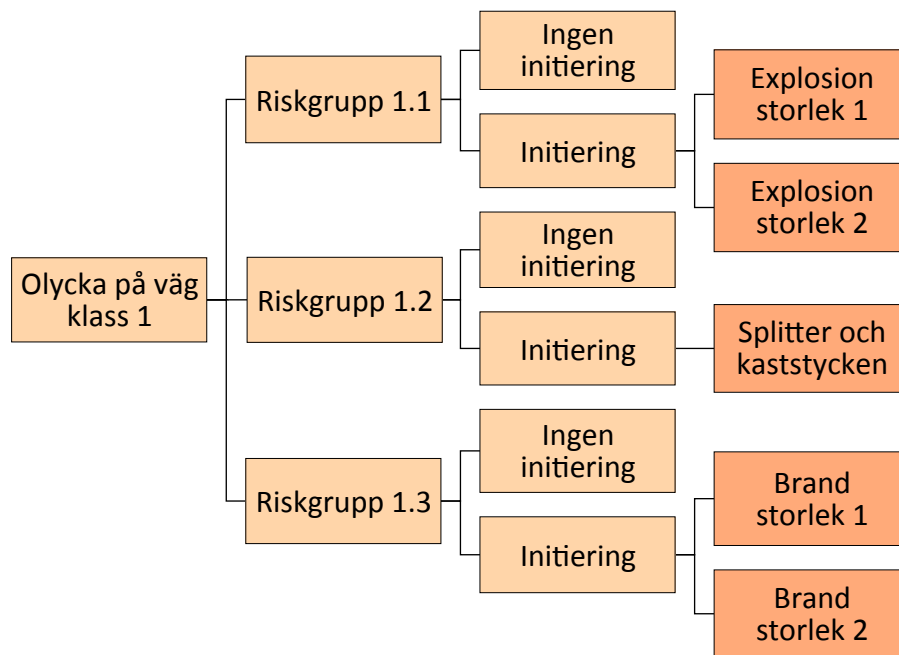
Jämförelse med hur riskanalyser genomförs i Sverige

I jämförelsestudien genomförd av Alvarsson och Jansson (2016) framgår att samtliga riskanalyser väljer slutkonsekvensen explosion. Det som däremot skiljer analyserna åt är huruvida denna slutkonsekvens delas in i en eller flera typer av explosioner, exempelvis liten och stor explosion. I fyra riskanalyser väljs att göra en punktskattning och mängden explosivämne ansätts då till närmre 16 ton, vilket även är den maximala mängden för majoriteten av övriga riskanalyser. Denna mängd explosivt gods kan härledas till regelverket ADR-S (2019, MSBFS 2018:5), vilket anger tillåtna laster vid transport (se vidare avsnitt 5.4.2). Därutöver väljer 4 riskanalyser att genomföra en uppdelning i liten och stor explosion och resterande 4 genomför en än mer detaljerad uppdelning i 3 storlekar. Vidare har endast en analys tagit hänsyn till splitter och omkullkastning, vilket gjordes genom att i konsekvensberäkningarna sänka skadekriteriet.

Rekommendationer utifrån litteraturen

Med hänsyn till de potentiella skillnaderna i slutkonsekvens involverat någon av de tre riskgrupperna 1.1-1.3 rekommenderas att inkludera massexplosion, brand samt splitter och kaststycken i händelseträdet enligt Figur 4 nedan. Vidare bedöms det värdefullt att dela upp en massexplosion involverat klass 1.1 och en brand involverat klass 1.3 i två eller tre storlekar (mängden transporterat gods). Vilken mängd explosivt gods som är lämplig att ansätta för respektive explosion diskuteras i kommande avsnitt, *Transporterade mängder*.

Om inte två, eller tre mängder används är alternativet att genomföra en punktskattning. Detta tillvägagångsätt riskerar dock medföra en under- eller överskattning av risken beroende på vilken mängd explosivt gods som ansätts. Genom att utgå från den maximalt tillåtna mängden gods vid transport likt i riskanalyserna studerade av Alvarsson och Jansson (2016) riskerar analysen att bli allt för konservativ. Detta antagande förutsätter att maximal lastning sker vid samtliga transporter. Genom att ta hänsyn till olika mängder transporterat gods i händelseträdet samt i vidare konsekvensberäkningar förväntas en bättre representation av verkligheten erhållas. Detta resonemang stöds bland annat av Abrahamssons (2002) diskussion angående angreppssättet värsta tänkbara scenario i en riskanalys. Resultatet från en sådan analys blir sannolikt allt för konservativt och mindre lämpligt som beslutsunderlag ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.



Figur 4: Förslag till slutkonsekvenser beaktade i ett händelsetråd för klass 1 där en distinktion genomförs för olyckor involverat klass 1.1, 1.2 respektive 1.3.

5.2.2 Initierande händelser och möjliga skadehändelser

I detta avsnitt utreds vilka initierande händelser och skadehändelser (olycksscenarioer) som är aktuella vid händelsetrådsanalysen. I detta arbete utgörs den initierande händelsen, även kallat utlösande händelsen, av en olycka på väg involverat farligt gods klass 1, vilken potentiellt kan förorsaka någon av slutkonsekvenserna presenterade i Figur 4. Avsnittet delas upp i ett antal delavsnitt för att underlätta för läsaren.

Initierande händelser vid transport av farligt gods

The Working Party on the Transport of Dangerous Goods (2008) rekommenderar att nedan listade utlösande händelser inkluderas vid en riskanalys avseende transport av farligt gods. Olyckstyperna är inte specifika för explosiva ämnen och föremål, utan utgör vägledning vid analys av samtliga farligt gods klasser. Här poängteras även att brand kan utgöra såväl en utlösande händelse som en konsekvens till följd av någon av de andra olyckstyperna (WP. 15, 2008).

- Kollision
- Påkörning bakifrån
- Vältolyckor
- Kollision med andra objekt
- Brand
- Plötsligt fel på tank

Dessa olyckstyper sammanfaller till stor del med svensk litteratur och olycksstatistik. Enligt SKL (2012) är det lämpligt att utgå från olycksstatistik för sådana olyckor vilka resulterat i svåra personskador eller dödsfall. Dessa olyckor kan nämligen generellt sätt förväntas innebära störst krockvåld och därmed risk för skada på tankar för farligt gods. I SKLs rapport

(2012) presenteras svensk olycksstatistik för tunga fordon under åren 2006-2010. För de mest allvarliga olyckorna (svåra personskadaolyckor eller dödsolyckor) ser fördelningen ut enligt följande:

- Knappt 25 % mötesolyckor
- Cirka 25 % korsandeolyckor
- Cirka 20 % upphinnandeolyckor
- Drygt 10 % singelolyckor
- Drygt 10 % avsvängsolyckor

Även Vägverket (2008) (numera Trafikverket) redovisar i sin djupstudie av olyckor med tunga lastbilar olycksstatistik för olika typer av trafikolyckor. Här framkommer att mötes- och omkörningsolyckor är den dominerande olyckan sett till antalet omkomna. Cirka hälften av dödsfallen sker till följd av en omkörnings- eller mötesolycka. Därefter följer korsnings- och avsvängsolyckor. SKL (2012) refererar dock till en annan studie, genomförd av Räddningsverket 1999, vilken visade att cirka 50 % av farligt godsolyckorna var singelolyckor. Det är således inte en självklarhet att farligt godsolyckor följer samma trender som olyckor med andra tunga fordon (SKL, 2012).

En undersökning som specifikt analyserade farligt gods-olyckor genomfördes av MSB (2015). I analysen undersöktes 279 vägolyckor som inträffat 2006-2014. Av de 279 olyckorna kunde 261 kategoriseras med avseende på olycksplats. Av dessa inträffade 49.1 % i samband med lastning/lossning, 38.4 % på landsväg och 8.6 % vid bebyggelse. Vidare kunde MSB identifiera 79 olyckor vilka kategoriserades som trafikolycka. Dessa olyckor analyserades närmre genom att identifiera händelsetypen för respektive olycka. Till grund för analysen låg olycksrapporter för händelserna inkomna till MSB. Resultatet sammanfattas i Tabell 6 nedan.

Tabell 6: Resultat från en undersökning genomförd av MSB 2015 avseende farligt godsolyckor inträffade år 2006-2014. I utredningen identifierades 79 olyckor i vägtrafiken vilka kategoriserades som trafikolyckor. För respektive trafikolycka identifierades händelsetypen genom applicering av sökuttrycken (kursiv text) i tabellen, kolumn 1.

Typer av händelser i vägtrafiken (sökuttryck)	Antal olyckor	Andel av det totala antalet olyckor
<i>Välte eller vältning</i>	55	70 %
<i>Kollision vägtrafik</i>	9	11 %
<i>Avåkning eller utanför vägbanan</i>	20 händelser (9 överlappar med <i>välte</i> eller <i>vältning</i>)	14 % (plus de 9 olyckorna kategoriserade som <i>vältningsolycka</i>)
<i>Krock</i>	4 händelser	5 %
Totalt	79	100 %

Från ovan resultat framgår att den dominerande olyckstypen var vältningsolyckor (55 händelser). I analysen var flertalet av olyckorna kategoriserade som både vältning och avåkningsolyckor. Vidare registrerades 13 olyckor som *krock* eller *kollision vägtrafik*. Studien indikerar således att singelolyckor, framförallt vältningsolyckor, är den dominerande

olyckstypen. MSB (2015) redovisar flera fall varvid ett tankfordon vält och läckage av farligt gods uppstått.

Det går även att återfinna statistik avseende farligt godsolyckor på internationell nivå. Oggero et al. har analyserat drygt 1900 olyckor vid transport av farligt gods på väg och järnväg under perioden tidigt 1900-tal till och med 2004. Olyckorna är geografiskt spridda över USA, Australien, Kanada, Japan, Nya Zeeland, Norge samt inom EU och övriga delar av världen. Det statistiska underlaget är enligt författarna stort i jämförelse med tidigare genomförda studier. Vid en kategorisering av de studerade olyckorna avseende vad som ansågs orsaka olyckan framgår att 18 % utgjordes av mekaniskt fel, externa händelser och den mänskliga faktorn. Varvid den mänskliga faktorn utgjorde 8 % utav samtliga olyckor. Majoriteten, 73.5 %, av olyckorna, inträffade dock till följd av olyckor med stötpåverkan, däribland kollisionsoolyckor.

Initiering av explosion

För att avgöra vilka utlösande händelser och skadehändelser som är aktuella för specifikt klass 1 krävs kännedom angående hur en explosion kan initieras. Davies (1994) presenterar i sin artikel en systematisk genomgång av möjliga stimuli som kan initiera en explosion vid transport av explosiva varor. Dessa inkluderar chock och vibration, stöt/kollision, friktion, termisk energi (brand), kemisk instabilitet/reaktivitet samt elektrisk energi (statisk elektricitet).

Termisk påverkan genom brand eller påverkan genom stöt/kollision anses vara de främsta orsakerna till initiering av explosiva varor vid transport enligt Davies (1994). Chock och vibration bedöms endast medföra en initiering av explosion vid händelser involverat kraftig stöt/kollision. Därmed är det svårt att skilja på inverkan från chock/vibration och stöt/kollision (Davies, 1994). På liknande sätt är det svårt att särskilja inverkan från friktion respektive stöt/kollision. För att erhålla en initiering genom friktion krävs enligt Davies att emballage och höljen går sönder, vilket mer eller mindre endast sker till följd av en kraftig stöt/kollision. Alternativt kan en initiering genom friktion ske då det explosiva godset kontaminerats och därav känsliggjorts.

Kemisk instabilitet/reaktivitet är alltså ytterligare en möjlig orsak till explosion. Davies (1994) poängterar att denna risk hanteras genom de krav som ställs på tillverkning och paketering, men felaktig hantering eller oförsiktighet kan dock fortfarande förekomma och följaktligen förorsaka en olycka. Vidare konstateras att sannolikheten för att den statiska elektricitet som kan uppstå vid normal transport eller vid en trafikolycka är försumbar (Davies, 1994).

Utlösande händelser och skadehändelser vid riskanalys gällande explosivt gods

I den tidigare nämnda utredningen av HSE (1995) anses brand och krockvåld vara de utlösande händelser av störst betydelse vid riskanalys gällande explosivt gods. HSE (1995) bedömer även att sannolikheten för explosion till följd av brand är betydligt högre i jämförelse med explosion till följd av en stötpåverkan vid exempelvis en trafikolycka.

Betydelsen av att ta hänsyn till bränder lyfts även fram i den tidigare nämnda internationella olycksutredningen genomförd av Oggero et al. I 1573 av de analyserade olyckorna inkluderades en beskrivning av händelseförloppet (Oggero et al., 2006). Därigenom möjliggjordes för framtagandet av ett generellt händelsetråd. Här framgår att 95 olyckor resulterade i explosion till följd av brand, medan 39 stycken olyckor resulterade i en direkt antändning och explosion. Dock visar inte studien på vilken klass av farligt gods de studerade olyckorna involverade. Det går således inte att dra några direkta slutsatser gällande explosiva varor. Resultatet bedöms ändå ge en tydlig indikation på att händelseförloppet brand, med efterföljande explosion är viktigt att ha med vid händelsetråd för klass 1.

I HSEs riskutredning (1995) inkluderas även osäkert explosivt. Med osäkert explosivt gods avses explosiva varor vilka tillverkats eller paketerats på ett felaktigt sätt eller som på något annat sätt har bristande kvalitet. Genom en studie av 11 olyckor på väg, järnväg samt i hamnar åren 1950-1993 i Storbritannien framgår att 5 utav dessa förorsakades av osäkert explosivt gods (HSE, 1995). Dessutom studerades 12 olyckor i hamnar på internationell nivå. Här konstaterades att åtminstone en tredjedel av olyckorna inträffade till följd av osäkert explosivt gods. Med bakgrund av de tidigare olyckorna genomförs en dubbling av samtliga olycksfrekvenser i analysen. Här inkluderas exempelvis frekvenser för olyckor i samband med transport och bränder, men även de i samband med hantering av godset i hamnen. Författarna menar dock att detta är en stor källa till osäkerhet och en vidare utredning avseende risken till följd av osäkert explosivt gods rekommenderas. Här utgör processer för kvalitetskontroll, tillverkning och underhåll områden intressanta för vidare analys (HSE, 1995).

Även Xiaoli, Yingying & Jian (2018) visar på att explosioner kan förorsakas av annat än våldet till följd av en trafikolycka, såsom mekaniskt fel. Författarna har analyserat drygt 800 olyckor vid transport av farligt gods i Kina, åren 2015-2016. Fokus för analysen var riskfaktorers inverkan och hur dessa i samverkan kan orsaka en olycka. Med hjälp av data från de studerade olyckorna kunde ett bayesianskt nätverk utvecklas, vilket i sin tur kan användas för att skatta posteriori sannolikheter för olika riskfaktorer givet en olycka, samt sannolikheten för att en olycka ska ske givet en viss riskfaktor. Författarna redovisar posteriori sannolikheter för en mängd olika riskfaktorer givet en explosion. Givet en olycka med slutkonsekvensen explosion är sannolikheten för att det transporterade godset utgjordes av explosivt gods 8 %. Vidare är sannolikheten för att olyckan förorsakats av fordonsfel 37 %. Övriga 63 % förväntas orsakas av vältolyckor (37 %), kollision (12 %), påkörning bakifrån (10 %) eller påkörning från sidan (3%).

Fordonsbränder

I en utredning angående transport av explosivt gods genomförd av Moreton och Merrifield (1994), presenteras flera möjliga orsaker till initiering av en fordonsbrand. I listan nedan presenteras de typer av olyckor som förväntas resultera i brand med påverkan på lasten samt den skattade olycksfrekvensen. Dessa frekvenser har i analysen (Moreton & Merrifield, 1994) skattats genom felträdsanalys samt med hjälp av expertbedömningar. Hänsyn har då tagits till att fordonen är anpassade för att transportera explosiva ämnen och föremål genom diverse riskreducerande åtgärder avseende brand. Det bör dock poängteras att Moreton och

Merrifields studie är över 20 år gammal och således går det att ifrågasätta huruvida dessa frekvenser är aktuella även idag.

- Elektriska eller mekaniska fel hos fordonet (3×10^{-10} per fordons – km)
- Bränder av däck till följd av exempelvis punktering eller bromsfel (2×10^{-9} per fordons-km)
- Illvilligt startade bränder eller på grund utav rökning (2×10^{-11} per fordons-km)
- Trafikolycka (kollision eller liknande) (1×10^{-10} per fordons-km)

Från Moreton och Merrifields studie (1994) framgår att fordonsbränder i större grad förväntas bero på tekniska fel eller däckbränder i jämförelse med trafikolyckor. Detta resultat stödjs även av senare publicerad litteratur.

Vid en sökning efter litteratur gällande fordonsbränder framgår att flertalet arbeten publicerats vilka fokuserar på tunnelsäkerhet. Enligt Nævestad & Meyer (2013) beror detta på att konsekvensen till följd av bränder i tunnlar kan bli mycket omfattande och området är således högst intressant för utredning. Författarna har studerat brandolyckor i vägtunnlar åren 2008-2011 (Nævestad & Meyer, 2013). Resultatet visar bland annat att tunga fordon (> 3.5 ton) är överrepresenterade i olycksstatistiken (38 %) i förhållande till dess andel av trafiken (14 %). Ett liknande resultat erhålls i en Österrikisk studie avseende fordonsbränder i tunnlar 2006-2012 (Rattei, Lentz & Kohl, 2014). Här konstateras att tunga fordon tycks innebära en 6 gånger så stor risk för fordonsbrand i jämförelse med personbilar.

Vidare framgår i Nævestad & Meyers studie (2013) att vid 37 % utav bränderna hos tunga fordon saknades en rapportering av vad som låg bakom branden. För de olyckor vilka inkluderade en olycksrapportering kunde konstateras att tekniska problem förorsakat åtminstone 49 % av olyckorna. Endast 12 % följde en kollision. Enligt författarna stärks resultatet av internationell forskning, vilken även indikerar att majoriteten av bränder i tunnlar orsakas av mekaniska eller elektriska fel hos fordon (Nævestad & Meyer, 2013). Däribland framgår i den tidigare nämnda Österrikiska studien (Ratter et al., 2014) att endast en av bränderna involverat tunga fordon (30 olyckor) förorsakats av en kollision. Författarna poängterar dock att det var personbilen involverad i kollisionsoolyckan som började brinna, varvid branden spreds till det tunga fordonet.

Det finns dock litteratur som indikerar att fordon för transport av farligt gods är mindre benägna att börja brinna i jämförelse med andra tunga fordon. I en fransk studie, genomförd av PIARC Committee on Road Tunnels (1999) presenteras olycksstatistik avseende bränder fördelat över fordonstyp, se Tabell 7 nedan. Till grund för studien utgör olycksstatistik från 26 olika vägtunnlar i Frankrike.

Tabell 7: Frekvenser för fordonsbränder i Franska vägtunnlar (PIARC, 1999)

Kategorisering av brand		Antal bränder per 10 ⁸ fordonskilometer
Personbilar	Bränder av någon betydelse	1-2
Lastbilar (ej farligt gods)	Bränder av någon betydelse	8
	Bränder vilka orsakar någon skada på tunneln	1
	Väldigt allvarliga bränder	0,1-0,3
Lastbilar för transport av farligt gods	Bränder av någon betydelse	2
	Bränder involverat farligt gods	0,3

Den samlade frekvensen för bränder från Moreton och Merrifields studie (1994) är 0,242 per 10⁸ fordonskilometer. Frekvensen är alltså i samma storleksordning som den från PIARCs utredning sett till bränder involverat farligt gods. Vidare visar resultatet från PIARC att frekvensen för bränder involverat farligt godsfordon tycks vara 4 gånger lägre i jämförelse med för lastbilar (Farligt godsbränder (2+0,3) / bränder lastbilar (8+1+0,1-0,3) ≈ 0,25).

I PIARCs rapport (1999) framgår även att sannolikheten för fordonsbrand i lastbilar ökar vid kraftiga väglutningar. Vid branta uppförsbackar krävs ett tungt motorarbete, vilket kan leda till överhettning och brand. På liknande sätt innebär långa och branta nedförsbackar en risk för överhettade bromsar. Enligt tidigare fransk statistik representerar överhettning av bromsar 60-70 % av de inträffade fordonsbränderna i lastbilar.

Sammanfattning

Sammanfattningsvis indikerar ovan litteratur att olyckor till följd av mekaniskt fel, framförallt de som ger upphov till fordonsbränder, är viktiga att ta hänsyn till vid en riskanalys för klass 1. Vidare är trafikolyckor den mest frekventa olyckstypen. Varvid vältolyckor tycks vara den dominerande olyckstypen vid transport av farligt gods. Därutöver utgör osäkert explosivt gods en risk för olyckor som bör utredas vidare.

Jämförelse med hur riskanalyser genomförs i Sverige

I jämförelsestudien genomförd av Alvarsson och Jansson (2016) framgår att de skadehändelser vilka inkluderats är följande:

- Antändning av fordon (till följd av trafikolycka) och efterföljande spridning av brand till last
- Stötinitiering (till följd av trafikolycka)
- Fordonsbrand (ej till följd av trafikolycka)

De två förstnämnda skadehändelserna är de som är vanligast förekommande (12 av de studerade analyserna inkluderar dessa). Den sistnämnda är endast inkluderad i en av riskanalyserna. Vad gäller RIKTSAM inkluderas endast skadehändelsen stötinitiering.

Därutöver tycks ingen av riskanalyserna explicit ta hänsyn till risken till följd av osäkert explosivt gods.

Rekommendationer utifrån litteraturen

Utifrån litteraturen presenterad ovan framgår att initiering av en explosion kan ske genom en mängd olika stimuli. Det är dock tydligt att de initierande händelser som har störst betydelse är fordonsbränder respektive trafikolyckor med kraftigt stötpåverkan.

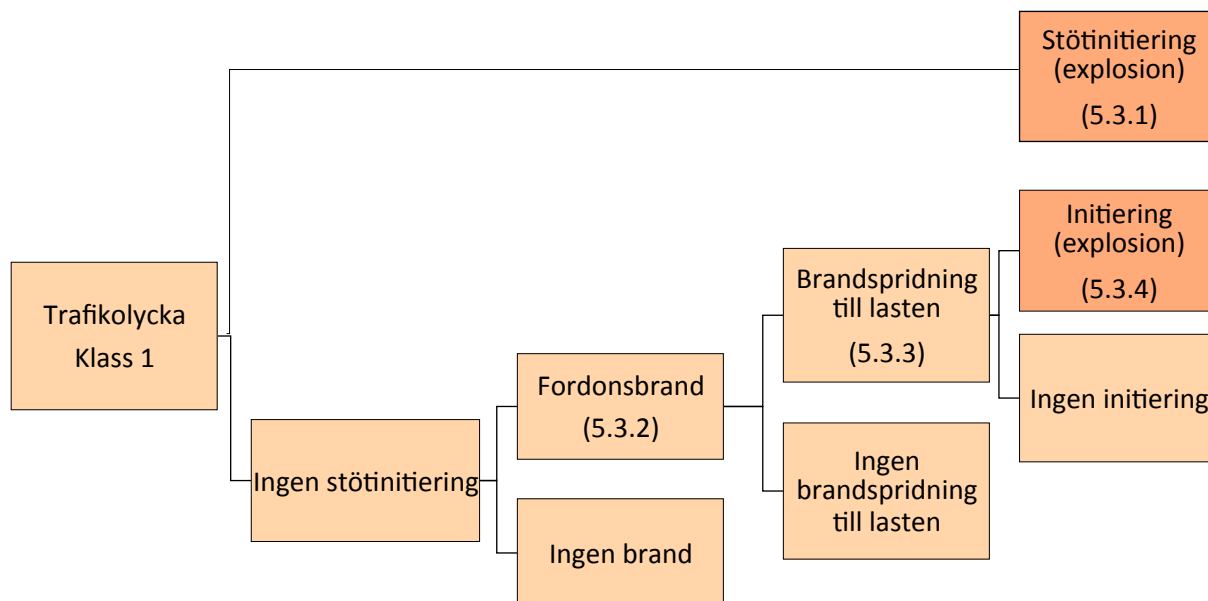
En trafikolycka kan delas upp i olika olyckstyper, exempelvis mötesolyckor och vältolyckor. För att erhålla en rimlig mängd scenarier bedöms det dock rimligt att samgruppera samtliga trafikolyckor i händelseträdet.

Hänsyn bör dock tas till andelen olyckor vilka kan förväntas medföra en kraftig stötpåverkan och därmed innebära en risk för stötinitierad explosion eller fordonsbrand. Detta kan exempelvis göras genom att utgå från statistik för trafikolyckor vilka resulterat i dödsfall eller allvarlig personskada. Detta angreppssätt rekommenderas bland annat av SKL (2012). Ingångsfrekvensen i händelseträdet bör således ses över och anpassas utefter vilka olyckor som är aktuella vid transporter av explosivt gods.

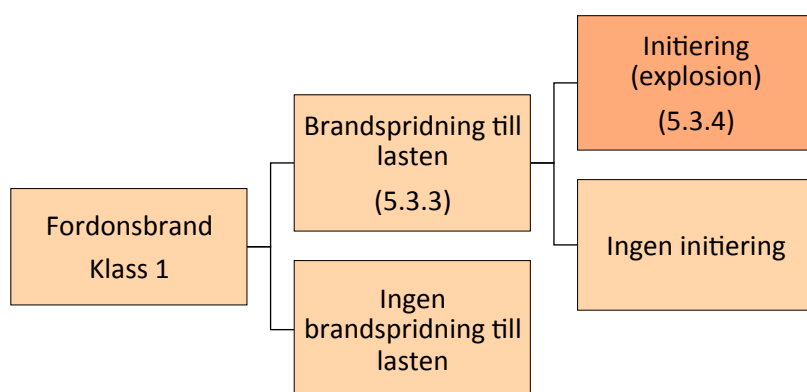
Litteraturen har även visat att fordonsbrand kan utgöra såväl en initierande händelse som en konsekvens till följd av en trafikolycka.

Därutöver identifierades genom litteraturstudien att det kan föreligga en risk på grund utav osäkert explosivt gods. Litteraturen är dock mycket begränsad och pekar inte mot ett entydigt svar. Enligt HSE (1995) innebär osäkert explosivt gods en betydande risk som inte kan bortses ifrån med grund i olycksstatistik. Davies (1994 & 1990) menar å andra sidan att kraven ställda på materialanvändning i fordon, förpackning av explosivt gods och hantering medför en försumbar risk. Kunskapsläget bedöms således inte tillräckligt för att ge någon vidare rekommendation förutom att denna risk bör utredas vidare.

De identifierade olycksscenarierna vilka rekommenderas att inkludera vid en riskanalys presenteras i händelseträden nedan. Det första händelseträdet utgår från den initierande händelsen trafikolycka, medan det andra utgår från en fordonsbrand av annan orsak än trafikolycka. Vidare bedöms det rimligt att stötinitiering placeras först i händelsekedjan. Påverkan från en kollision inträffar rimligtvis före en eventuell fordonsbrand. Observera att detta inte är de färdigställda händelseträden för klass 1. Dessa kommer kompletteras med ytterligare parametrar, vilket framgår i kommande avsnitt.



Figur 5: Skadehändelser till följd av en trafikolycka på väg involverat klass 1 (explosiva ämnen och föremål). I parentes redovisas även i vilket avsnitt sannolikheten för respektive delhändelse utreds.



Figur 6: Skadehändelser till följd av en fordonsbrand vid transport av farligt gods klass 1 (explosiva ämnen och föremål). Den initierande händelsen, fordonsbrand, avser bränder till följd av annan orsak än en trafikolycka, exempelvis en brand på grund av mekaniskt fel. I parentes redovisas även i vilket avsnitt sannolikheten för respektive delhändelse utreds.

5.3 Kvantifiering av delhändelser

I följande avsnitt presenteras möjliga tillvägagångsätt, identifierade genom litteraturstudien, för att skatta sannolikheten för respektive delhändelse i händelseträden (Figur 5 och Figur 6). Jämförelsen med hur riskanalyser genomförs idag återfinns vid avsnittet för känslighetsanalysen. I Alvarsson och Janssons jämförelsestudie (2016) presenteras inte sannolikheten för respektive delhändelse. Däremot redovisas den skattade sannolikheten för en explosion givet en olycka, vilket således innefattar den sammanvägda kvantifieringen av de olika delhändelserna.

5.3.1 Sannolikheten för stötinitiering (explosion) givet en trafikolycka

Då andelen olyckor som förväntas medföra en betydande påverkan på lasten skattats utgörs nästa steg av en skattning av sannolikheten för stötinitiering (explosion) givet en sådan olycka.

Sannolikheten för stötinitiering (explosion) givet en kraftig stöt, exempelvis till följd av en trafikolycka utreds i studien publicerad av HSE (1995) för respektive riskgrupp. Riskgrupp I1 består av sådana explosiva föremål vilka förväntas vara mer känsliga i jämförelse med andra typer av explosivt gods. Föremålen i fråga är ammunition, framförallt de som innehåller raketmotorer. Författarna skattar sannolikheten för initiering av dessa föremål vid kraftiga stötar till 0.01. Denna sannolikhet skattas med grund i tidigare försök där sådana föremål i glasfiber-containrar släppts på ett plant underlag av betong från 12 meters höjd. Vidare har hänsyn tagits till att föremålen transporteras i mer säkra containrar genom att dividera med faktorn 4. Dessutom diskuteras risken till följd av att andra mindre objekt kan bryta förpackningar och påverka den explosiva lasten. Enligt expertbedömning vid MoD (the Ministry of Defence) bedöms den ansatta sannolikheten ta höjd för denna risk (HSE, 1995).

Riskgrupp I2 täcker majoriteten av explosiva varor som förväntas transporteras i HSEs studie (1995). Sannolikheten för initiering grundas även här i försök där explosivt gods utsatts för stötar, vilka ska motsvara ett fall från över 12 m. Testen genomfördes på nitroglycerin-baserade explosiva föremål, vilka enligt författarna är mer känsliga än de vanligt använda explosiva ämnena och föremålen under tiden för studien. Av de 1150 genomförda testerna förekom ingen initiering. Därigenom kunde sannolikheten för initiering skattas till mindre än 1×10^{-3} med ett 70 % konfidensintervall. Med tanke på att det explosiva godset tillhörande riskgrupp I2 förväntas vara mindre känsligt än de i studien bedöms sannolikheten vara något konservativ. Någon justering av sannolikheten genomför dock inte eftersom att ingen tydlig information går att återfinna till stöd för detta (HSE, 1995).

Vid utredning av den sista och minst känsliga riskgruppen, I3, konstateras att statistiskt underlag saknas. Därför väljer författarna (HSE, 1995) att ansätta den troligtvis konservativa sannolikheten 1×10^{-4} . Föremålen tillhörande denna riskgrupp är flygbomber.

Även andra former av test och undersökningar har genomförts för att utreda explosiva ämnen och föremåls känslighet vid exempelvis trafikolyckor. I en artikel publicerad 2008 vid SAFEX, presenteras ungefärliga hastigheter som leder till initiation vid projektil – tester (ERM, 2008). SAFEX är en internationell organisation som samlar information gällande risken till följd av explosiva varor (ERM, 2008). Vid dessa tester skjuts projektiler med mindre mängder explosivt gods mot en hård yta. I resultatet framgår att olika former av dynamit initierade vid hastigheter omkring 40-90 m/s, explosiv vattengel vid 200-400 m/s, ANFO vid 450-600 m/s och Emulite vid 550-750 m/s.

En liknande undersökning presenteras även av Davies (1994 & 1990). Vid dessa försök, så kallat ”Susan test” har en projektil av stål innehållande 0.45 kg av olika explosiva ämnen skjutits mot hårda ytor vid olika hastigheter. Resultatet från testerna visar att samtliga explosiva ämnen kunde utsättas för hastigheter långt över 50 m/s (180 km/h) utan att explodera. Denna hastighet kan jämföras med hastighetsbegränsningen, 90 km/h (25 m/s), för flera av de fordon vilka transporterar farligt gods (se avsnitt 5.4). Davies (1994 & 1990) poängterar dock att även om flera typer av explosiva ämnen kräver höga hastigheter för

initiering så kan sannolikheten för initiering vid trafikolyckor inte försummas. Vid försöken konstateras att alla projektiler, trots resultatet, inte kan förväntas överleva hastigheter över 15 m/s (54 m/s).

Davies (1990) poängterar dock att tester likt de beskrivna ovan inte kan ge någon exakt bedömning gällande vilka kollisionshastigheter som krävs för initiering av en explosion. Dels motsvarar testerna inte de exakta förhållandena vid en olycka. Exempelvis paketeras godset för att minimera risken för initiering. Dels fungerar fordonet som en stötdämpande barriär. Davies menar dock att eftersom att kollisionshastigheter över 15 m/s inte är ovanligt så kan inte dessa riskreducerande åtgärder förväntas eliminera risken för stötinitierad explosion.

I ett arbete genomfört av Scott Mills, Sprung och Osborn 2006 på uppdrag av the Material Transportation Risk Assessment & Security Department i USA presenteras statistik över kollisionshastigheter vid olyckor involverat lastbilar 1996-2000. Här framgår att ungefär 70 % av olyckorna inträffade vid kollisionshastigheter över 15 m/s.

Rekommendationer utifrån litteraturen

Sannolikheten för initiering till följd av våldet från en olycka är inte enkel att skatta, vilket även poängteras i studien genomförd av HSE (1995). De tester som presenterats ovan motsvarar inte de exakta förhållandena vid en trafikolycka och således är det svårt att dra några säkra slutsatser. Utifrån angivna källor bedöms att en sannolikhet på 0,001 bör kunna ansättas i de flesta fall. Dels på grund utav att majoriteten av det explosiva godset kan förväntas tillhöra riskgrupp I2 i HSEs studie (1995). Dessutom ansågs denna sannolikhet vara något konservativ. Denna sannolikhet appliceras även i utredningen för Hallands län (Länsstyrelsen Hallands län & COWI, 2011b).

Alternativt kan förslagsvis en triangelfördelning tillämpas med intervallgränserna 0.01 och 0.0001, vilka härrör från HSEs utredning (1995). Varvid sannolikheten 0.001 utgör det mest troliga värdet. På så sätt tas explicit hänsyn till osäkerheten i skattningen.

5.3.2 Sannolikheten för en fordonsbrand givet en trafikolycka

Ett möjligt tillvägagångssätt för att skatta denna sannolikhet är att utgå från olycksstatistik. En sådan skattning presenteras i en riskanalys utgiven av Trafikverket (2017b). Sannolikheten för en fordonsbrand givet en trafikolycka skattades i analysen med hjälp utav statistik från USA då tillräcklig statistik från Sverige saknades enligt författaren. Källor för statistiken var the National Fire Protection Association (2010), the Federal Emergency Management Agency (2012) samt the United States Census Bureau (2012). Genom den analyserade statistiken framgick att ca 1.6 miljoner trafikolyckor som involverat lastbilar inträffat på motorvägar i USA under perioden 2005-2009, varav 72600 resulterade i fordonsbränder. Således skattades sannolikheten för en fordonsbrand givet en trafikolycka involverat lastbil till $72600/1\ 600\ 000 = 4.5\ %$. I riskanalysen (Trafikverket, 2017b) framgår dock inte vilka typer av olyckor som faller under benämningen ”trafikolycka”. Således kan inte någon slutsats dras avseende huruvida fordonsbränder till följd av annat än stötpåverkan inkluderas i denna skattning.

En alternativ skattning, vilken tar hänsyn till olyckstyp, presenteras däremot i en utredning genomförd av Clauss och Blower 1999 på uppdrag av the U.S. Department of Energy. I denna utredning har statistik för lastbilar involverat i olyckor, 1992-1996, vilka resulterat i dödsfall

analyserats. Dessutom har ytterligare information gällande olyckorna hämtats från bland annat polisrapporter samt genom intervjuer med vittnen och räddningstjänst. Arbetet inkluderar en detaljerad analys avseende fordonsbränder, vilken möjliggör för en skattning av sannolikheten för en brand givet en kollision. I Tabell 8 nedan redovisas en sammanfattning av resultatet från studien.

Tabell 8: Statistik för olyckor med lastbil på väg 1992-1996 i USA. Hämtad från utredning genomförd av Clauss och Blower 1999. Sannolikheten (P) för brand givet en viss olyckstyp samt den totala sannolikheten för brand vid en olycka presenteras.

Olyckstyp	Totalt	Brand	P (brand givet olyckstyp)
Kollision	12996	691	0,053
Ej kollision	329	38	0,116
Okänd	197	18	0,091
P (brand, samtliga olyckstyper)			0,055

Vid en applicering av denna statistik bör dock hänsyn tas till det statistiska underlaget.

I utredningen genomförd av Clauss och Blower (1999) analyseras endast olyckor vilka resulterat i dödsfall. Clauss och Blower diskuterar lämpligheten i valet av att använda databasen TIFA (Trucks Involved in Fatal Accidents från the Center for National Truck Statistics vid UMTRI), vilken tillhandahåller statistik för dödsolyckor. Författarna argumenterar för att det statistiska underlaget trots allt är lämpligt för att beskriva fördelningen av olyckor. Målet med studien var att bestämma sannolikheten för olyckor vilka bedöms kunna påverka den fysiska integriteten hos fordon vilka transporterar farligt gods. Clauss och Blower menar att sådana olyckor generellt sätt begränsas till kollisioner vid höga hastigheter eller större bränder. Dessa olyckor förväntas i sin tur med stor sannolikhet orsaka dödsfall. Således bedöms det statistiska underlaget vara lämpligt för studien.

Därmed är sannolikheterna i Tabell 5 tillämpbara om ingångsfrekvensen för en olycka på väg i händelseträdet baseras på ett liknande statistiskt underlag där endast allvarliga olyckor inkluderas. Möjligheten att genomföra en frekvensjustering med avseende på olyckor med kraftigt kollisionsvåld diskuterades i förgående avsnitt.

Rekommendationer utifrån litteraturen

Genom litteraturstudien har endast två möjliga skattningar avseende sannolikheten för en fordonsbrand givet en trafikolycka identifierats. Skattningen presenterad i riskanalysen utgiven av Trafikverket (2017b) och den presenterad av Clauss och Blower (1999) är dock i samma storleksordning, 4,5 respektive 5,3 procent. Således styrks resultatet från respektive analys.

Här bör uppmärksammas att det statistiska underlaget härrör från USA i båda arbeten. Det hade varit värdefullt att genomföra en liknande studie med grund i statistik från EU länder för att ytterligare styrka resultatet. Därutöver hade det även varit av intresse att genomföra en mer detaljerad analys avseende bränder för specifikt farligt godsfordon. Dessa utformas nämligen för att minimera risken för brand enligt krav ställda i ADR (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 9.2.4).

I rapporten från PIARC (se Tabell 7) framgår att farligt godsfordon mer sällan är involverade i bränder. Varvid farligt godsfordon skattats vara involverat i 4 gånger färre antal olyckor. Det är dock svårt att dra några säkra slutsatser. Dels är statistiken presenterad av PIARC (1999) 20 år gammal och det genomförs ingen distinktion avseende orsaken till de registrerade fordonsbränderna. Fordons- och teknikutvecklingen under de senaste 20 åren torde emellertid inte ha ökat sannolikheten för fordonsbrand givet olycka.

Ett annat möjligt tillvägagångssätt är att utgå från olycksfrekvenserna presenterade av Moreton och Merrifield (1994), vilka redovisades i avsnittet *Initierande händelser och möjliga skadehändelser*. Även denna studie är dock relativt gammal och saknar en detaljerad redogörelse över vilken statistik som ingår i resultatet. Det är följaktligen tämligen svårt att värdera olycksfrekvensernas tillämpbarhet idag.

Sammanfattningsvis konstateras att det finns ett behov av nya studier för att erhålla mer säkra skattningar avseende sannolikheten för en fordonsbrand givet en trafikolycka. Utifrån litteraturen bedöms ett intervall om 2-7 % tillämbart.

5.3.3 Sannolikheten för brandspridning till lasten

Enligt Davies (1990) utgör en övergång från en mindre brand till en kraftig brand² (på engelska *engulfing fire*) som påverkar lastutrymmet den största risken för initiering av en explosion. Vid sådana bränder kan det explosiva godset påverkas av temperaturer så pass höga att en explosion inträffar. Sannolikheten för att en sådan brand ska inträffa beror i sin tur på flera faktorer enligt Davies (1990). Däribland på möjligheten för räddningstjänst eller fordonsbesättning att hindra brandspridningen.

Som regel genomför räddningstjänst i Sverige endast en offensiv släckinsats då brandspridning till lasten bedöms kunna förhindras (Ohlén & Larsson, 2011). Om lasten redan påverkas av branden sker aldrig någon offensiv släckinsats utan fokus ligger på utrymning av området. Således utgör tiden för brandspridning till lasten en viktig faktor. Davies (1990) refererar till the London Fire and Civil defence, vilka uppskattat att tiden för utveckling av en kraftig brand hos tunga fordon är omkring 3 till 4 minuter. Denna tid är dock rimligtvis längre för fordon anpassade för transport av explosivt gods. Davies (1990) bedömer dock att räddningstjänst mest sannolikt inte hinner påbörja en släckinsats innan brandspridning till lasten inträffat.

Möjligheten för fordonsbesättningen att släcka en påbörjad brand är således avgörande. Samtliga fordon avsedda för transport av farligt gods ska enligt ADR-S 2019 (MSBFS 2018:5, 8.1.4) utrustas med brandsläckare. Dessutom finns automatiskt brandsläckningssystem för motorutrymmet hos fordon avsedda för transport av större mängder explosivt gods (EX/III fordon) (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 9.7.9.1).

Vidare påverkar lokaliseringen av branden risken för utvecklingen av en större brand. Bränder till följd av skador på bränsletankar bedöms exempelvis vara betydligt mer riskfyllda i jämförelse med isolerade elektriska bränder enligt Davies (1990). Clauss och Blower (1999)

² Fortsättningsvis benämns dessa bränder som kraftiga eller stora, men mer specifikt avses alltså sådana bränder vilka på engelska beskrivs som *engulfing*. Någon exakt motsvarighet på svenska finns inte.

menar dessutom att fordonsbränder med dödlig utgång näst intill uteslutande involverar bränslet hos fordonet i fråga. Davies konstaterar dock att det saknas någon tillgänglig statistik avseende sannolikheten för en större brand (engulfing) beroende på brandens lokalisering. Litteraturstudien har inte heller resulterat i identifiering av sådan statistik.

Däremot presenterar Davies (1990) skattningar för sannolikheten för kraftiga bränder givet en initierad fordonsbrand. För tunga fordon bedöms omkring 20 % av bränderna vid andra olyckor än kollisioner utgöras av större bränder. Författaren presenterar även ett motsvarande sannolikhetsintervall, 5-40%, vilket inkluderar tunga fordon samt tågvarnar. För kollisionsolyckor bedöms motsvarande siffra vara omkring 40-60 %.

Fordonen utformade för transport av farligt gods bedöms dock vara mer säkra enligt Davies (1990). Varvid en sannolikhet omkring 5-15 % vid bränder till följd av annat än kollisionsolyckor bedöms rimlig enligt författaren. Denna skattning härrör från ett tidigare arbete genomfört av författaren för the Ministry of Defence 1989. Varvid brandrisken hos fordon avsedda för transport av ammunition utretts. Om brandsakerna rökning och anlagda bränder bortses ifrån bedöms sannolikheten vara närmre 5 %. Davies (1990) menar att detta är ett rimligt antagande för fordon avsedda för transport av explosivt gods med hänsyn till de krav som ställs på fordonsbesättningen, bland annat gällande rökförbud, samt då fordonen sällan lämnas obevakade.

Även Clauss och Blower (1999) presenterar statistik avseende andelen kraftiga fordonsbränder. Vid en analys av olyckor vilka resulterat i bränder kommer Clauss och Blower fram till att större bränder motsvarade 55 % av fallen (angivna i Tabell 9 nedan). I Tabell 9 nedan redovisas dessutom andelen större bränder beroende på typ av olycka. Observera återigen att samtliga studerade olyckor resulterat i dödsfall, vilket innebär att endast mycket allvarliga olyckor inkluderas i statistiken.

Tabell 9: Andelen bränder initierade vid en olycka involverat lastbil på väg, vilka är i direkt anslutning till transportfordonet, "engulfing". Statistiken är hämtad från en utredning genomförd av Clauss och Blower 1999 varvid olyckor med dödligt utfall involverat lastbilar på vägar i USA 1992-1996 analyserats.

Typ av olycka kategoriserat efter MHE (most hazardous event)	Andelen kraftiga bränder (engulfing fires)
Kollision med lastbil/tankbil	0,40
Kollision med bil	0,50
Kollision med tåg	0,42
Kollision med objekt	0,72
Vältolycka/brand/nedsänkning i sjö eller liknande	0,67

Rekommendationer utifrån litteraturen

Från litteraturen framgår att sannolikheten för en större brand (brandspridning till lasten) kan bedömas vara högre vid en fordonsbrand till följd av en trafikolycka i jämförelse med en brand till följd av exempelvis mekaniskt fel. Varvid sannolikheten vid kollisionsolyckor kan representeras genom intervallet 40-60 %. Detta intervall stöds av såväl Davies (1990) som av resultat från Clauss och Blowers utredning (1999). Detta intervall inkluderar dock ingen hänsyn till brandsäkerheten hos EX fordon. Varvid ett intervall om

20-50 % bedöms mer rimligt. Det är dock svårt att dra några säkra kvantitativa slutsatser utifrån litteraturen. Skattningen av denna parameter är således relativt osäker.

Sannolikheten för en kraftig brand vid ej trafikrelaterade olyckor kan istället representeras genom intervallet 5-15 %. Varvid det även är motiverat att tillämpa en fördelning där det mest troliga värdet ligger närmre 5 %. Här utgör dock Davies rapport (1990) den enda källan för resultatet.

Ytterligare en aktuell aspekt är skillnaden mellan EX/II och EX/III fordon. Varvid EX/III fordon utformas för att vara än mer säkra avseende brandrisk (se vidare i avsnitt 5.4). Således är det motiverat att justera ansatta sannolikheter så att denna skillnad representeras. Endast utifrån litteraturen är det dock svårt att dra några säkra kvantitativa slutsatser. Endast utifrån litteraturen bedöms sannolikhetsfördelningar inklusive justering i Tabell 10 nedan rimlig.

Tabell 10: Förslag till kvantifiering av sannolikheten för brandspridning till lasten (kraftig brand) för EX/II respektive EX/III fordon. Sannolikheten bedöms kunna förväntas vara något lägre för EX/III fordon med bakgrund av den högre brandsäkerheten hos dessa fordon. Sannolikheten beror även på typen av olycka. Varvid fordonsbränder till följd av trafikolyckor med större sannolikhet leder till kraftiga bränder.

Olyckstyp/fordon	Sannolikheten för brandspridning till lasten (sannolikhetsfördelning)
Vid en fordonsbrand till följd av trafikolycka	
EX/II- fordon	Triangelfördelning (0,2;0,4;0,5)
EX/III- fordon	Triangelfördelning (0,2;0,3;0,5)
Vid en fordonsbrand till följd av annat än trafikolycka (mekaniskt fel, däckbränder osv.)	
EX/II- fordon	Triangelfördelning (0,05;0,08;0,15)
EX/III- fordon	Triangelfördelning (0,05;0,05;0,15)

Från tabellen framgår att endast det förväntade värdet i respektive triangelfördelning skiljer sig mellan EX/II och EX/III fordon. Någon ytterligare justering anses inte möjlig utan att introducera osäkerheter i resultatet som skulle kunna vara av betydelse. Från känslighetsanalysen, vilken redovisas i avsnitt 6, framgår nämligen att denna sannolikhet har stor inverkan på resultatet. Såväl Davies arbete (1990) som Clauss och Blowers (1999) är relativt gamla och det hade varit värdefullt att hitta mer aktuella skattningar. Litteraturstudien har dock inte lyckats identifiera några ytterligare källor. Vidare utredning gällande denna sannolikhet bedöms därmed värdefull.

5.3.4 Sannolikheten för initiering (explosion) givet påverkan från brand

I studien publicerad av HSE 1995 konstateras att samtliga explosiva ämnen och föremål kan förväntas reagera vid exponering för brand. Däremot kan konsekvensen variera beroende på typen av gods involverat. Varvid en del är mycket känsliga och kan orsaka en massexplosion. Medan andra endast brinner långsamt utan att initiera någon explosion.

Även Davies (1990) redogör för variationen i känslighet hos olika typer av explosivt gods vid påverkan av större bränder. Däribland förväntas sannolikheten för explosion av ammonium nitrat-baserade emulsioner och slurry endast vara omkring 1-10 %. Däremot förväntas

explosivämnen bestående av nitroglycerin mer eller mindre alltid explodera vid påverkan från brand.

Sannolikheten för initiering (explosion) givet påverkan från brand utreds av HSE (1995) för riskgrupp F1 respektive F2 (Tabell 5). Riskgrupp F1 omfattar majoriteten av det explosiva godset och ämnen och föremål från såväl klass 1.1, 1.2 samt 1.3 återfinns i denna riskgrupp. Då majoriteten av dessa explosiva ämnen och föremål förväntas reagera explosivt vid en påverkan av brand väljer författarna att ansätta sannolikheten 1 för initiering givet påverkan från brand. Författarna menar att detta är ett något konservativt val då en analys av tidigare olyckor visat att ett fåtal olyckor involverat dynamit resulterade i att godset brann utan någon påföljande explosion.

Riskgrupp F2 inkluderar ett fåtal föremål i klass 1.1 och har i tidigare försök visats vara okänsliga vid brand (HSE, 1995). I studien publicerad av HSE väljs dock en konservativ sannolikhet, 0.1, men grund i att antalet studier som genomförts är få.

Rekommendationer utifrån litteraturen

I tidigare avsnitt genomfördes bedömningen att de riskgrupper vilka är viktigast att ta hänsyn till är 1.1-1.3. Då ingen än mer detaljerad uppdelning appliceras bedöms att sannolikheten 1 kan användas för samtliga utav dessa grupper. Om en brandspridning sker till lasten (kraftig fordonsbrand), förväntas följaktligen en reaktion ske i samtliga fall. Denna sannolikhet bygger på antagandet att mindre brandkänsligt gods är betydligt mer ovanligt i jämförelse med brandkänsligt gods, i enlighet med HSEs utredning (1994). Detta är ett konservativt angreppssätt. Möjligheten att ansätta en lägre sannolikhet begränsas dock i och med att typerna av explosivt gods som transporteras i störst utsträckning är okänd. Om förutsättningarna vid en riskutredning gör gällande att mindre känsligt gods transporteras i större mängder kan en uppdelning i olika typer av gods, med hänsyn till känslighet för påverkan från brand, med fördel genomföras.

Däremot skiljer sig konsekvensen åt mellan de olika riskgrupperna (1.1, 1.2 och 1.3) enligt tidigare resonemang. Därigenom tas exempelvis hänsyn till att en massexplosion inte förväntas inträffa vid samtliga olyckor.

5.4 Fordon och trafik

I detta avsnitt redogörs dels för fordonstyper vid transport av explosivt gods samt hur dessa utformas för säkra transporter. Därefter följer ett delavsnitt gällande mängden gods per transportenhet, vilket har en direkt inverkan på de vidare konsekvensberäkningarna. Denna parameter skiljer sig alltså åt från övriga då den inte påverkar med vilken sannolikhet en olycka inträffar. Parametern har ändå valts att undersökas då bland annat handledare vid AFRY sett ett behov av ökad kunskap gällande hur denna parameter kan hanteras på bästa sätt.

5.4.1 Fordon för transport av explosivt gods

Vid transport av explosiva varor används EX/II eller EX/III fordon (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 9.1.1.2). Dessa fordon är speciellt anpassade för transport av explosiva ämnen och föremål. Dessa två fordon skiljer sig åt på några punkter. Generellt sätt ställs något högre krav på EX/III fordon, vilka är de fordon där en större transporterad mängd explosivt gods tillåts per transportenhet. EX/II fordon ska antingen vara täckta eller presenningsförsedda, medan

EX/III fordon måste vara täkta (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 9.3). Vidare ska exempelvis alla öppningar på EX/III fordon kunna låsas och samtliga skarvar ska vara tätade samt överlappa varandra.

Fordonen avsedda för transport av explosivt gods är anpassade för detta genom en mängd olika säkerhetskrav (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 9.2). Exempelvis ställs krav på åtgärder specifikt avsedda för att minska risken för brand. Dessa inkluderar bland annat bestämmelser kring placering av motor samt krav gällande bränsletankars och avgassystems utformning. Däribland ska risken för uppvärmning eller antändning av det transporterade godset förhindras. Dessutom ställs krav på materialanvändning vid tillverkning av EX/II och EX/III fordon. Varvid presenning för EX/II fordon ska vara utav ett svårbrännbart material och materialet hos ett EX/III fordon ska vara värme och flamresistent (ADR-S 2019, MSBFS: 2018:5, 9.3).

En aktuell fråga är huruvida säkerhetskrav ökat eller förändrats på andra sätt med tiden. Vid en jämförelse av kraven ställda i kapitel 9 i ADR (UNECE), *Requirements concerning the construction and approval of vehicle*, 2019 respektive 2001 framgår att en del förändringar implementerats. Däribland har kraven gällande hastighetsbegränsning förändrats.

I ADR 2001 krävs att EX fordon vilka överstiger en maximal vikt på 12 ton ska vara försedda med en hastighetsbegränsande anordning vilken tillåter en maximal hastighet på 85 km/h. I ADR 2019 gäller detta för fordon över 3.5 ton och hastigheten får maximalt uppgå till 90 km/h. Således påverkas en större mängd fordon av hastighetsbegränsningen idag, vilket i sin tur är riskreducerande vad gäller exempelvis stötinitierad explosion vid en trafikolycka.

Dessutom ställer ADR 2019, till skillnad från ADR 2001, som krav att EX/III fordon ska utrustas med automatiskt brandsläckningssystem för motorutrymmet samt att termiska sköldar i metall ska finnas för att skydda lasten mot däckbrand. Dessa åtgärder bedöms utifrån litteraturen som mycket värdefulla. I tidigare avsnitt kunde konstateras att fordonsbränder främst sker till följd av mekaniska fel. Varvid överhettning av motorer och bromsar, vilket kan orsaka däckbränder, utgör en betydande risk. Dessa krav gäller dock inte för de mindre EX/II fordonen.

Rekommendationer utifrån litteraturen

Från de presenterade förändringarna i krav ställda för EX/II och EX/III fordon är det svårt att dra några kvantitativa slutsatser avseende sannolikheten för respektive olycksscenario. Däremot går det att konstatera att genom åren har ADR kontinuerligt uppdaterats för att öka säkerheten vid transport av farligt gods. Framförallt avseende brandsäkerhet. Det bedöms även rimligt att förvänta sig en lägre brandrisk hos fordon avsedda för transport av farligt gods i jämförelse med övriga transportfordon. Varvid sannolikheten för kraftiga bränder i EX/III fordon torde vara lägre i jämförelse med för EX/II fordon.

5.4.2 Transporterade mängder

Mängden gods som får transporteras på väg regleras i ADR-S 2019 (MSBFS 2018:5) enligt Tabell 11 nedan. Den tillåtna mängden beror dels på ämnesklass, dels på vilket typ av fordon som används för transport. De två fordonstyperna benämns EX/II respektive EX/III. Generellt sätt ställs högre säkerhetskrav på EX/III fordon, vilket förklarar varför dessa fordon tillåts transportera större mängder explosivt gods. För en mer ingående presentation av dessa fordon,

se förgående avsnitt. Vidare regleras även den tillåtna mängden gods vid transport utifrån samhanteringsgrupp.

Tabell 11: Reglering av tillåtna transporterade mängder av klass 1 enligt ADR-S 2019 (MSBFS 2018:5, 7.5.5.2.1). Högsta tillåtna nettovikt av explosivämne i kg av gods i klass 1 på en transportenhet.

Transportenhet	Riskgrupp	1.1		1.2	1.3	1.4		1.5 och 1.6	Tömda, ej rengjorda förpackningar
	Samhanteringsgrupp	1.1A	Ej 1.1A			Ej 1.4S	1.4S		
EX/II		6,25	1000	3000	5000	1500 0	obegränsat	5000	obegränsat
EX/III		18,75	1600 0	1600 0	1600 0	1600 0	obegränsat	1600 0	obegränsat

Förutom en riskgrupp (1.1-1.6) tilldelas även explosivt gods en samhanteringsgrupp (MSB, 2019b). Samhanteringsgruppen avgör huruvida godset får samlastas i ett lastutrymme med andra typer av farligt gods eller övrigt gods (MSB, 2019b). Det finns 13 samhanteringsgrupper för klass 1 och de definieras utifrån olika egenskaper hos explosivt gods. Som exempel kan nämnas samhanteringsgrupperna vilka anges i Tabell 11:

A: Tändämne (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 2.2.1.1.6)

S: Ämnen eller föremål så förpackade eller utformade att all verkan genom vådatändning, oavsiktlig initiering eller oavsiktlig funktion begränsas till kollit, såvida inte kollit har skadats av brand. I så fall är dock all verkan av tryckvåg eller splitter och kaststycken så begränsad att brandbekämpning eller andra nödatgärder i kollits omedelbara närhet inte väsentligt inskränks eller förhindras. (ADR-S 2019, MSBFS 2018:5, 2.2.1.1.6)

Transporten av ämnen klassificerade 1.1A regleras kraftigt i jämförelse med övriga, vilket inte är förvånande då dessa är tändämnen med risk för massexplosion (se Tabell 4). Vidare är transporten av gods klassificerat 1.4S obegränsad. Detta innefattar ämnen med obetydlig explosionsrisk (se Tabell 4) som dessutom ger begränsad skadeverkan enligt samhanteringsgrupp S ovan.

Vid uppbyggnad av händelseträdet är det aktuellt att representera vilken mängd explosivt gods som förväntas transporteras per fordon. Detta är väsentlig indata vid vidare konsekvensberäkningar. Vilken mängd som transporteras beror på flera olika faktorer. Däribland val av fordon för transport och andra projektspecifika faktorer, exempelvis vilken typ av industrier som finns i närområdet.

Vid riskanalysen för farligt gods i Hallands län (Länsstyrelsen Halland län & COWI, 2011a) tillfrågades transportföretag och leverantörer angående huruvida EX/II och EX/III fordon används i samma utsträckning. Enligt de tillfrågade är det framförallt de mindre fordonen, EX/II, som går ut på det svenska vägnätet. Dessutom menar de att fulla transporter med 16 ton explosivt gods är ovanligt. Således bör mängden gods i händelseträdet anpassas därefter. Därutöver kartlades den lokala transporten av farligt gods genom att länsstyrelsen tillfrågade

närliggande verksamheter gällande dess transporter. Denna information presenteras dock inte i riskanalysen, vilket kan förmodas bero på att sådan information anses vara känslig.

Ytterligare en aktuell aspekt gällande transporterade mängder är fördelningen mellan de olika riskgrupperna. Någon statistik avseende denna fördelning har dock inte återfunnits genom litteraturstudien. Visserligen redovisas förekomsten av transporter för de olika riskgrupperna i utredningen genomförd av HSE (1994). Riskanalysen avser dock transporter till och från hamnar i Storbritannien. Därmed bedöms inte detta resultat vara representativt för andra delar av vägnätet. Dessutom bedöms även detta kunna vara en projektspecifik parameter. Förekomsten av de olika riskgrupperna beror mest troligt till stor del på de verksamhetstyper som återfinns i det studerade området.

Jämförelse med hur riskanalyser genomförs i Sverige

Tillvägagångssättet i riskanalyserna studerade av Alvarsson och Jansson (2016) har till stor del redan presenterats i avsnittet *Slutkonsekvens*, varvid olika tillvägagångsätt identifierades. Några riskanalyser ansatte en punktskattning närmre 16 ton, medan andra genomförde en uppdelning i explosioner av olika storlek. I tabellen nedan presenteras ansatta godslaster för de riskanalyser vilka genomförde någon form av uppdelning av explosioner. Från resultatet framgår att samtliga riskanalyser bedömer att mindre mängder gods är mest troligt, vilket är i linje med ovan litteratur. Därutöver är det svårt att endast utifrån litteraturen värdera någon fördelning mer lämplig än någon annan. Med undantaget att fördelningen i RIKTSAM bedöms vara mycket konservativ.

Tabell 12: Resultat hämtat från Alvarsson och Janssons jämförelsestudie av genomförda riskanalyser gällande farligt gods på väg (2016). Tabellen gäller för händelseträdsanalys avseende klass 1 (explosiva ämnen).

Uppdelnings slutkonsekvens (antal riskanalyser)	Ansatta mängder explosivt gods	Sannolikhet för respektive mängd gods
Liten/stor explosion (4)	(0.1, 16) ton	(98, 2) %
	(0.02, 16) ton	(98, 2) %
	(1, 16) ton	(94, 6) %
	(0.2, 6) ton	(98, 2) %
Liten/mellan/stor explosion (4)	(0.15, 1.5, 16) ton (3 analyser genomförda av samma konsultbolag)	(85, 14.5, 0.5) % *
	(0.5, 3, 16) ton	(80, 15, 5) %
Fördelning (RIKTSAM)	(10, 15) (ton)	Likformig fördelning

Rekommendationer utifrån litteraturen

Mängden gods i en transportenhet skulle kunna vara en projektspecifik parameter som tas hänsyn till i mån av information. Ofta genomförs dock riskutredningar utan kunskap om lastens typiska utformning. Det är då nödvändigt att ansätta en fördelning utifrån den kunskap som är tillgänglig.

Från litteraturstudien framgår en del vägledande information. Dels kan majoriteten av transportererna förmodas ske med hjälp utav de mindre EX/II fordonen. Dels kan maxlaster av 16 ton förväntas vara ovanligt förekommande. Därutöver gäller restriktioner angivna i ADR, varvid övre intervallgränser erhålls gällande transporterade mängder, se Tabell 11. Det är dock svårt att dra några slutsatser angående nedre intervallgränser. Det hade varit värdefullt att genomföra en vidare utredning med syfte att kartlägga vilka typiska mängder gods som förekommer vid transporter.

I tidigare avsnitt konstaterades att en uppdelning i olika explosionsstorlekar framförallt är aktuellt för riskgrupp 1.1 och 1.3. De tillåtna transporterade mängderna skiljer sig åt för dessa riskgrupper vid transport med EX/II fordon. Eftersom att EX/II fordon bedöms vara de mest frekvent använda är det motiverat att ta hänsyn till denna skillnad. Förslagsvis kan en olycka involverat ett EX/II fordon delas upp i två olika storlekar avseende transporterad mängd. Vidare kan en olycka involverat ett EX/III fordon representeras med en större mängd farligt gods (16 ton) för att ta hänsyn till det värsta tänkbara scenariot. Förslaget sammanfattas i tabellen nedan. Alternativt kan analysen göras mindre detaljerad genom att istället endast utgå från en större och en mindre transporterad mängd. Betydelsen av att utgå från tre olika scenarier eller två kan vidare undersökas genom en känslighetsanalys avseende beräknad konsekvens eller risk (individrisk/samhällsrisk³). Då konsekvensberäkning inte är en del av detta arbete lämnas det åt framtida analyser.

³ Individrisk: Ett riskmått avseende risken för enskilda individer vid en viss plats.
Samhällsrisk: Ett riskmått avseende risken för grupper av människor i ett område.

Tabell 13: Förslag till ansatta mängder explosivt gods som transporteras i de två typerna av transportfordon (EX/II och EX/III).

EX/III	Sannolikhetsfördelning	Punktskattning	Kommentar
Samtliga riskgrupper	16 ton	16 ton	Representerar värst tänkbara scenario
EX/II			
Riskgrupp 1.1 (mindre mängd)	Likformig fördelning 20-500 kg	20 kg (alt. 250 kg)	Rekommenderar känslighetsanalys avseende beräknad risk, individrisk/samhällsrisk för att avgöra lämpligheten i att utgå från 20 eller 250 kg.
Riskgrupp 1.1 (större mängd)	Likformig fördelning 500-1000 kg	1000 kg (alt. 750 kg)	Se ovan
Riskgrupp 1.3 (mindre mängd)	Likformig fördelning 20-500 kg	20 kg (alt. 250 kg)	Se ovan
Riskgrupp 1.3 (större mängd)	Likformig fördelning 500-5000 kg	5000 kg (alt. 2750 kg)	Se ovan

I tabellen ovan ges olika förslag till hur en punktskattning kan genomföras. Även här rekommenderas en känslighetsanalys avseende beräknad risk (individrisk/samhällsrisk) för att utreda huruvida det är mest lämpligt att utgå från det ena eller andra alternativet.

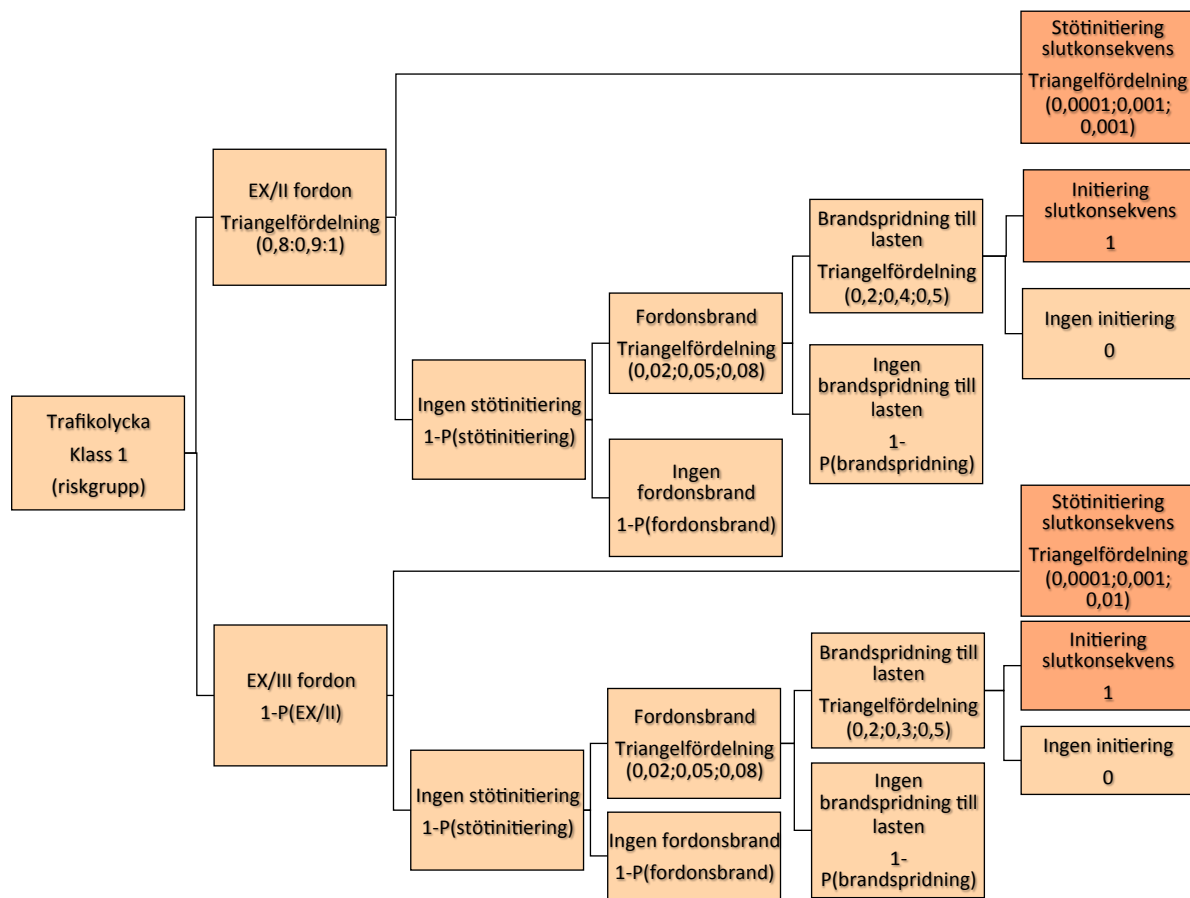
5.5 Förslag till händelsetråd

Nedan presenteras förslag till uppbyggnad av händelsetråd för klass 1 utifrån litteraturstudien samt förslag till kvantifiering av respektive delhändelse. I bilaga 2 återfinns ytterligare en sammanfattning av möjliga kvantifieringar av respektive delhändelse. Där redovisas även vilken källa som ligger till grund för respektive skattning.

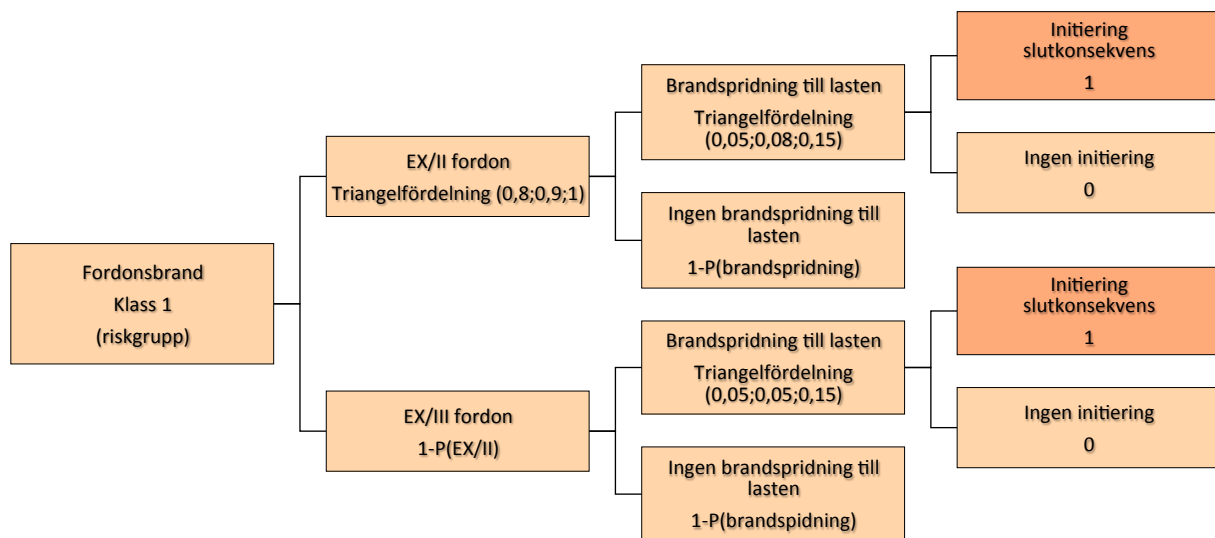
Händelseträden går att anpassa utefter projektspecifika förutsättningar och kan göras mer eller mindre detaljerade. Dels genom att representera olika transporterade mängder. Förslag för hur detta kan genomföras redovisades i förgående avsnitt. Därutöver kan träden appliceras för de olika riskgrupperna 1.1-1.3 då det är aktuellt. Varvid skillnaden framförallt avser aktuell slutkonsekvens. Ytterligare projektspecifika aspekter vilka kan vara aktuella att ha i åtanke vid kvantifiering av delhändelser redovisas i bilaga 3. Generellt sätt gäller att en högre detaljeringsgrad genererar ett mindre osäkert resultat.

Vidare förekommer såväl ansatta triangelfördelningar som likformiga fördelningar. Triangelfördelningar appliceras då ett mer troligt värde identifierats genom litteraturen. Likformiga fördelningar motsvarar däremot ett intervall varvid samtliga värden anses lika troliga. Resonemang till grund för ansatta sannolikhetsfördelningar hänvisas till avsnittet för respektive parameter i rapporten. I bilaga 2 redovisas även förslag till punktskattning då sannolikhetsfördelning väljs att ej appliceras vid beräkningar.

I Tabell 14 redovisas dessutom sannolikheten för respektive olycksscenario erhållen genom Monte Carlo simulering vid känslighetsanalysen. För vidare information angående hur Monte Carlo simuleringen samt känslighetsanalysen genomförts, se nästa avsnitt.



Figur 7: Förslag på händelsetråd för klass 1 explosiva ämnen och föremål samt ansatta sannolikheter för respektive delhändelse. Utlösande händelse: trafikolycka på väg med (kraftigt) kollisionsvåld eller stöt.



Figur 8: Förslag på händelseträd för klass 1 explosiva ämnen och föremål samt ansatta sannolikheter för respektive delhändelse. Utlösande händelse: Fordonsbrand vilken förorsakats av annat än en trafikolycka. Exempelvis elektrisk brand eller däckbrand.

Tabell 14: Sannolikheten för initiering (explosion) givet initierande händelse för de olika olycksscenarierna i händelseträden för klass 1.

Olycksscenario	Sannolikhet givet initierande händelse (90 % konfidensintervall)
Stötinitiering vid trafikolycka med EX/II fordon	0,00069-0,0071
Stötinitiering vid trafikolycka med EX/III fordon	0,000048-0,00095
Initiering till följd av fordonsbrand vid trafikolycka med EX/II fordon	0,0087-0,025
Initiering till följd av fordonsbrand vid trafikolycka med EX/III fordon	0,00043-0,0033
Initiering till följd av fordonsbrand av annan orsak än trafikolycka (EX/II fordon)	0,058-0,12
Initiering till följd av fordonsbrand av annan orsak än trafikolycka (EX/II fordon)	0,0024-0,016

Från tabellen framgår att olycksscenarioer för fordonsbränder till följd av annat än trafikolyckor förväntas inträffa med större sannolikhet.

Jämförelse med hur riskanalyser genomförs i Sverige

Händelseträden framtagna i detta arbete är till viss del väldigt lika de som används i praktiken, men skiljer sig på några punkter. Den största skillnaden, vilket redan konstaterats, är att majoriteten av händelseträden studerade av Alvarsson och Jansson (2016) inte inkluderar olycksscenarioer varvid en fordonsbrand uppstått till följd av andra orsaker än trafikolyckor. Således inkluderar de endast de scenarier som återfinns i det första händelseträdet, Figur 7.

Vidare inkluderas i dessa träd en distinktion mellan olyckor involverat EX/II respektive EX/III fordon. Detta genomförs inte i någon av de tidigare riskanalyserna. Det anses vara motiverat att ta hänsyn till denna skillnad med hänsyn till förväntade transporterade mängder per transportenhet samt brandsäkerheten hos de olika typerna av fordon. I känslighetsanalysen som redovisas i nästa avsnitt framgår att sannolikheten för brandspridning till lasten har en betydande påverkan på resultatet. Varvid skillnaden mellan EX/II fordon och EX/III även är av stor betydelse.

Betydelsen av ansatta sannolikhetsfördelningar redogörs för i känslighetsanalysen.

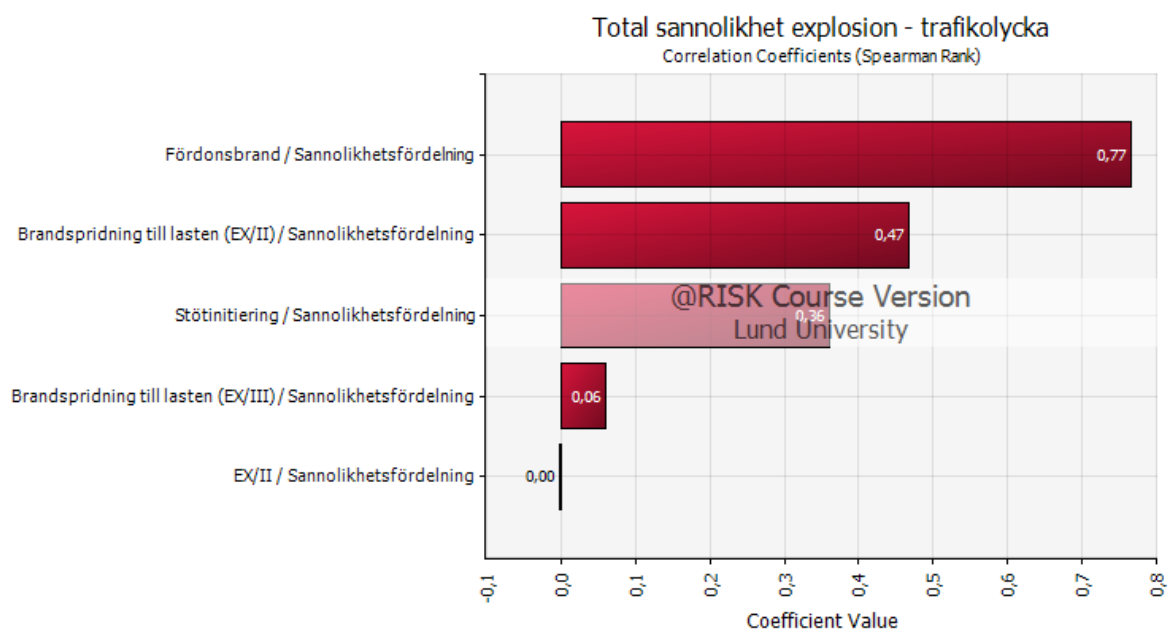
6. Känslighetsanalys och jämförelse med tidigare genomförda riskanalyser

Genom litteraturstudien möjliggjordes för kvantifiering av respektive delhändelse. Därefter har en känslighetsanalys genomförts med syfte att identifiera de parametrar som har störst inverkan på resultatet. Detta ger i sin tur en tydlig indikation gällande vad vidare studier bör fokusera på. Dessutom möjliggör analysen för en jämförelse med de tidigare genomförda riskanalyserna studerade av Alvarsson och Jansson (2016).

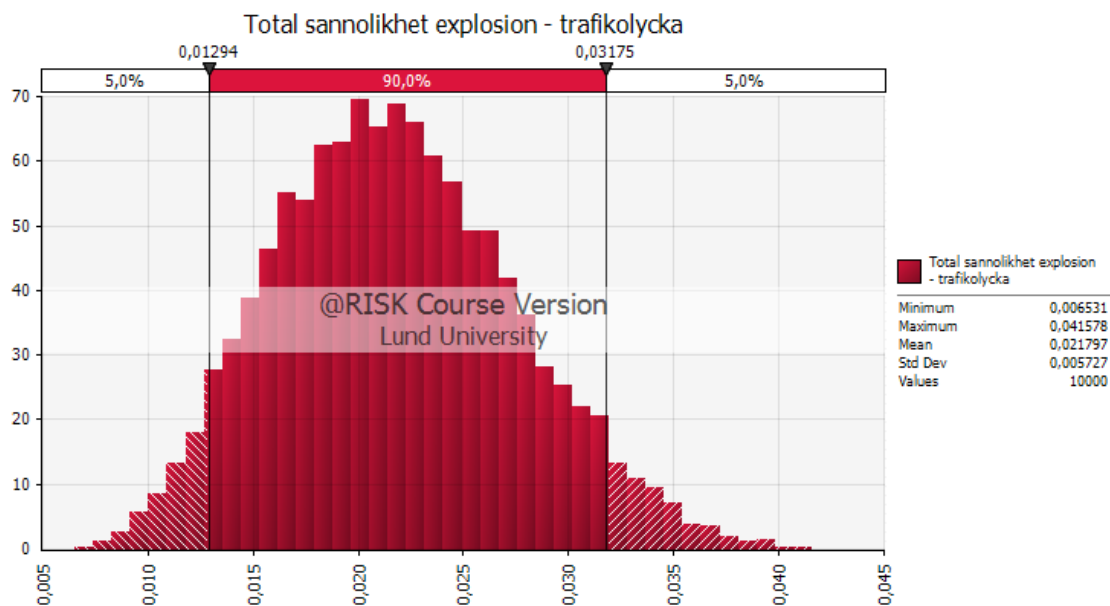
Vid känslighetsanalysen valdes att studera parameters betydelse för beräknad total sannolikhet för explosion givet en trafikolycka respektive fordonsbrand (till följd av annat än trafikolycka). Här summeras alltså sannolikheten för samtliga olycksscenarier vilka resulterar i en initiering (explosion). Därmed inkluderas inte aspekter avseende konsekvensen till följd av olika olycksscenarier. Varvid exempelvis en explosion involverat en mindre mängd gods kan förväntas leda till lindrigare skadeverkan. Detta val grundas framförallt i ett behov av att begränsa omfattningen av analysen samt då konsekvensberäkningar inte är en del av arbetet.

Metoden för analysen utgjordes av en Monte Carlo simulering i @Risk (Excel) och analyserades med hjälp av Spearmans rangkorrelationskoefficient. Koefficienten kan anta värden mellan +1 och -1. Varvid +1 eller -1 innebär att resultatet kan beskrivas genom en monoton funktion av den undersökta parametern. En koefficient nära -1 eller +1 innebär alltså att den aktuella parametern har en stor inverkan på resultatet. Värden närmre 0 innebär å andra sidan att parametern inte har någon betydande påverkan. För en mer detaljerad redogörelse avseende metoden för känslighetsanalysen, se bilaga 4.

I Figur 9 nedan redovisas resultat från känslighetsanalysen då den utlösande händelsen är en trafikolycka. Därefter följer i Figur 10 resultatet från motsvarande Monte Carlo simulering.



Figur 9: Känslighetsanalys avseende parameters inverkan på total sannolikhet för explosion givet en trafikolycka vid transport av farligt gods klass 1.



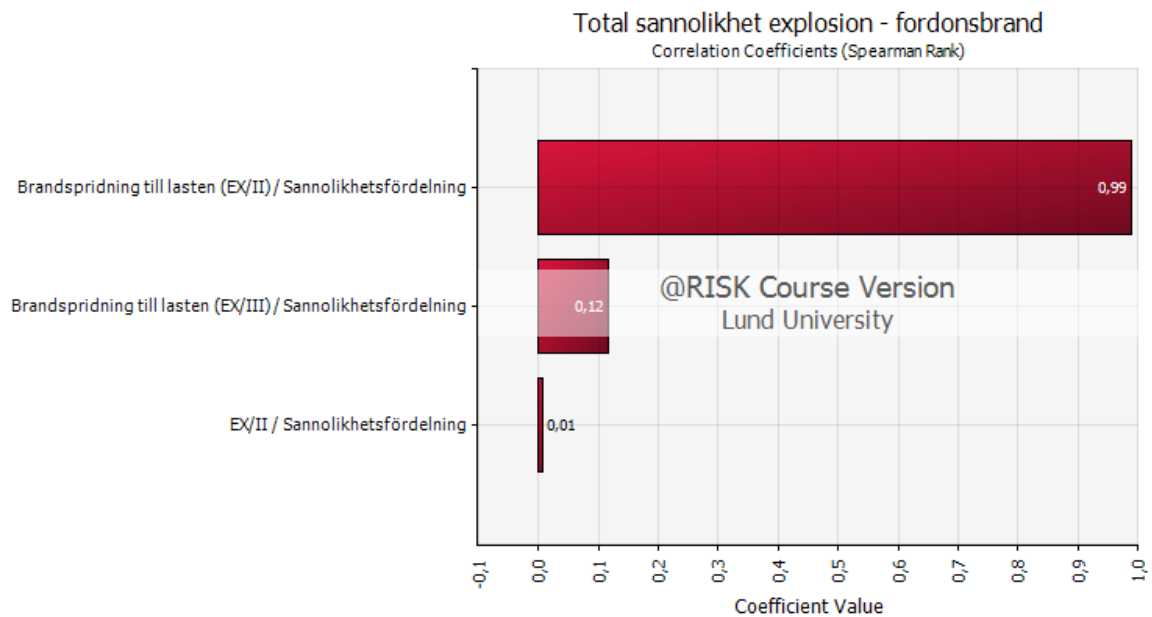
Figur 10: Monte Carlo simulering vid beräkning av total sannolikhet för explosion givet en trafikolycka vid transport av farligt gods klass 1.

Från känslighetsanalysen framgår att sannolikheten för fordonbrand är den parameter vilken i störst grad påverkar resultatet. Därefter följer sannolikheten för brandspridning till lasten hos EX/II fordon samt sannolikheten för stötinitiering. Olycksscenarioet fordonbrand i EX/II fordon tycks alltså vara det scenario som bidrar mest till den totala sannolikheten för en explosion vid en trafikolycka. Resultatet bedöms rimligt. Dels med tanke på den låga sannolikheten för stötinitiering (0,001). Dels då majoriteten av transporter antagits ske med EX/II fordon. Vidare antas sannolikheten för brandspridning hos EX/II fordon vara något högre i jämförelse med för EX/III fordon.

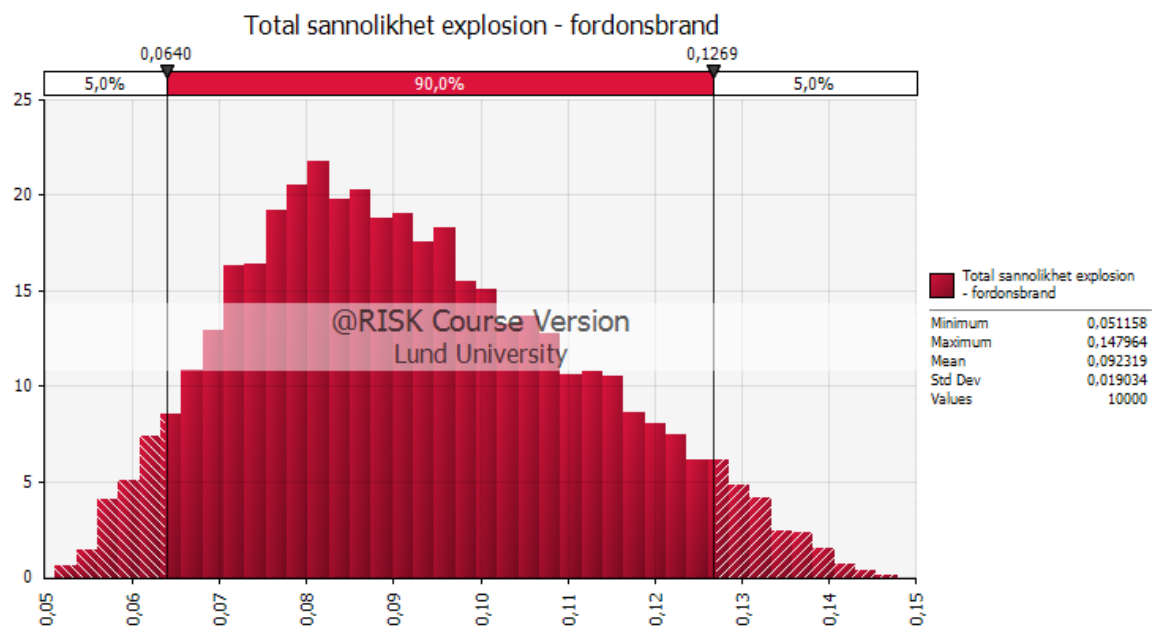
Vidare framgår från Monte Carlo simuleringen att den beräknade totala sannolikheten för initiering (explosion) ligger mellan 0,013 och 0,032 (90 % konfidensintervall). Detta resultat kan jämföras med spridningen i resultatet från de studerade riskanalyserna av Alvarsson och Jansson (2016). Vilket motsvarar intervallet 0,003-0,1 (se detaljerad redogörelse i bilaga 5). Här utesluts dock två resultat som inkluderar användning av farligt godsindex enligt VTI-modellen.⁴ Applicering av detta index resulterar i väsentligt lägre värden, 0,0002 respektive 0,000569. Från jämförelsen kan konstateras att resultatet från Monte Carlo simuleringen ligger inom intervallet för de tidigare genomförda riskanalyserna. Dessutom är det beräknade intervallet betydligt smalare än spridningen i resultaten från jämförelsestudien. Detta kan vara en indikation om mindre osäkerheter i resultatet från detta arbete.

⁴ Statens väg- och transportforskningsinstitut (Länsstyrelsen Malmöhus-län, Räddningsverket, Väg- och transportforskningsinstitutet (VTI), 1996) har utvecklat en modell för att beräkna frekvensen för farligt godsolycka. Vid beräkning av andelen olyckor vilka förväntas medföra ett läckage av farligt gods används så kallat ”index för farligt godsolycka”. Alvarsson och Jansson (2016) menar att applicering av detta index kraftigt underskattar risken då det förutsätter att ett läckage måste ske för att en explosion ska inträffa. Dessutom är indexet anpassat för annan transport av farligt gods då ”läckage” inte är tillämpligt för olyckor vid transport av farligt gods. Se bilaga 3 för vidare diskussion.

I Figur 11 nedan redovisas resultat från känslighetsanalysen då den utlösande händelsen är en fordonbrand (ej till följd av en trafikolycka) Därefter följer i Figur 12 resultatet från motsvarande Monte Carlo simulering.



Figur 11: Känslighetsanalys avseende parameters inverkan på total sannolikhet för explosion givet en fordonbrand(ej till följd av trafikolycka) vid transport av farligt gods klass 1.



Figur12: Monte Carlo simulering vid beräkning av total sannolikhet för explosion givet en fordonbrand(ej till följd av trafikolycka) vid transport av farligt gods klass 1.

Från känslighetsanalysen framgår att sannolikheten för brandspridning till lasten hos EX/II fordon är den enskilt mest viktiga parametern. Vilket kan förklaras enligt diskussionen för känslighetsanalysen avseende trafikolyckor. Återigen framgår att olycksscenarioer avseende fordonsbränder bör vara prioriterade vid fortsatt reducering av osäkerheter.

Från Monte Carlo simuleringen erhålls intervallet 0,064-0,123 (90 % konfidensintervall) för sannolikheten för initiering (explosion). Majoriteten av tidigare riskanalyser har inte tagit hänsyn till dessa olycksscenarioer. Varvid sannolikheten implicit kan konstateras varit ansatt till 0 i tidigare riskanalyser. Eftersom att frekvensen för dessa typer av fordonsbränder, utifrån litteraturen, förväntas vara betydligt större än fordonsbränder till följd av trafikolyckor bedöms detta kunna leda till en underskattning av risken. Vidare studier vilka inkluderar frekvensen för de olika typerna av bränder är dock nödvändiga för att kunna dra några kvantitativa slutsatser.

Sammanfattningsvis visar känslighetsanalysen att de olycksscenarioer vilka innebär en fordonsbrand är prioriterade vid fortsatt reduktion av osäkerheter i resultatet. I tidigare avsnitt har redan konstaterats att det hade varit värdefullt med vidare undersökningar avseende fordonsbränder. Framförallt de som tar hänsyn till brandsäkerheten hos EX fordon. Dessutom pekar litteraturstudien mot att fordonsbränder till följd av annat än trafikolyckor är betydligt mer vanliga.

Vid inkorporering av detta arbete i framtida studier eller riskanalyser rekommenderas dock en känslighetsanalys avseende förväntade konsekvenser, men kanske framförallt avseende beräknad risknivå (individrisk/samhällsrisk). Varvid frekvensen för de initierande händelserna kan inkluderas. Genom att genomföra en sådan analys kan nämligen andra parametrar visas vara mer viktiga för resultatet. Exempelvis har litteraturstudien visat att trafikolyckor är den mest frekventa olyckstypen. I känslighetsanalysen tycks detta olycksscenario inte vara av någon större betydelse. Då frekvensen tas hänsyn till skulle detta scenario kunna resultera i större påverkan på den totala risknivån.

7. Slutsats och diskussion

I följande avsnitt följer en diskussion gällande osäkerheter och felkällor i arbetet samt en sammanfattning av de viktigaste slutsatserna.

7.1 Osäkerheter, felkällor och diskussion

Till grund för resultatet ligger den genomförda litteraturstudien. Således förekommer även osäkerheter i huruvida identifieringen av värdefulla källor är komplett. Vid utformningen av studien har detta framförallt hanterats genom att testa flera möjliga sökord. Därutöver har för samtliga relevanta källor även referenslistor gått igenom. Arbetet begränsas dock genom tiden tillgänglig för studien och därmed kan inte uteslutas att det fortfarande finns oidentifierade relevanta källor. Vidare har författaren genomfört urvalet av litteratur på egen hand. Arbetet hade med fördel kunnat genomföras i samarbete med andra personer vid urvalet för att minska risken att gå miste om andra viktiga källor. Detta har försökt hanteras i största möjliga mån genom en kontinuerlig dialog med handledare vid såväl AFRY som vid LTH. Varvid handledare bland annat väglett vid utformning av metoden för litteraturstudien samt vid identifiering av aktuella organisationer och myndigheter som källor för arbetet.

Därutöver konstateras att majoriteten av källorna till grund för kvantifieringen av delhändelser är utarbetade före år 2000. Vilket möjligtvis kan ge en indikation om att litteraturstudien inte lyckats identifiera senare litteratur. Mer troligt visar dock detta på problematiken till grund för examensarbetet. Antaganden vid riskanalyser för transport av farligt gods grundas ofta i utredningar genomförda för mer än 20 år sedan. Alternativt saknas någon grund i vetenskaplig litteratur helt, vilket konstateras vara vanligt förekommande av Alvarsson och Jansson (2016). Detta behöver dock inte alltid innebära att resultatet från en riskanalys blir sämre. Däremot blir möjligheten för kvalitetssäkring och jämförelse mellan olika riskanalyser begränsad.

Trots osäkerheter och felkällor i arbetet bedöms resultatet värdefullt och ett steg i rätt riktning mot förbättrade riskanalyser avseende olika kvalitetsaspekter. Däribland är samtliga kvantifieringar genomförda i detta examensarbete vetenskapligt förankrade. Däremot bör återigen poängteras att arbetet genomförts på egen hand av författaren. Således påverkas ansatta sannolikhetsfördelningar av subjektiva bedömningar och tolkning av litteraturen. Det hade varit av intresse att presentera litteraturen sakligt för personer med expertis inom området för kvantitativ riskanalys för att se hur de hade valt att tolka denna. Något som i viss grad styrker resultatet är att handledare vid AFRY (två stycken) granskat arbetet. Dessa personer har gedigen erfarenhet inom området.

Vidare bedöms arbetet tillföra ökad kunskap avseende vilka initierande händelser och skadehändelser som är av betydelse vid riskanalys för transport av explosivt gods. Från litteraturen samt känslighetsanalysen är det tydligt att scenarier för fordonsbränder är av stor betydelse. Dessutom tyder flera källor på att fordonsbränder till följd av andra orsaker än trafikolyckor är betydligt vanligare. Här ges även möjlighet för vidare studier för att komplettera detta arbete. Däribland konstateras att vidare studier med fördel bör fokusera på en ökad kunskap gällande fordonsbränder. Exempelvis finns möjlighet för att minska osäkerheterna i riskanalyser genom att utreda betydelsen av brandsäkerhet hos EX fordon.

Endast utifrån detta arbete går inte att konstatera huruvida osäkerheterna i det framtagna händelseträdet är så pass stora att de bör prioriteras över andra utredningar avseende

exempelvis olycksfrekvens. Utifrån den genomförda Monte Carlo simuleringen kan dock konstateras att det 90 % konfidensintervallet för sannolikheten för explosion är betydligt mindre i jämförelse med spridningen i resultatet för riskanalyserna studerade av Alvarsson och Jansson (2016). Detta ger en indikation om att osäkerheter minskat genom det genomförda arbetet och således är troligtvis andra områden mer intressanta för vidare studier. Det är dock svårt att dra några långtgående slutsatser med hänsyn till att författaren inte haft möjlighet att studera de tidigare genomförda riskanalyserna i detalj.

Det anses bland annat betydelsefullt att komplettera detta arbete genom utredning av olycksfrekvenser samt konsekvensberäkningar. Detta för att erhålla en mer komplett bild över vilka de största osäkerheterna är vid riskanalyser för transport av farligt gods. Vidare vore det av intresse att genomföra liknande utredningar som i detta arbete, men för andra klasser av farligt gods. Däribland för klass 5, Oxiderande ämnen och organiska peroxider, vilken bedömts vara intressant av handledare vid AFRY. Ytterligare ett område aktuellt för vidare utredning är hur projektspecifika förutsättningar kan tas hänsyn till vid en riskanalys. I bilaga 3 återfinns en redogörelse för ett urval av parametrar vilka kan påverka med vilken sannolikhet olyckor kan förväntas inträffa. Här finns goda möjligheter för mer fördjupade arbeten.

Här är även värt att nämna ett pågående projekt som drivs av the European Agency for Railways i samarbete med EU-kommissionen (the Directorate-General for Mobility and Transport (DG MOVE)) samt andra organisationer och experter (ERA, 2020a). Projektet avser utvecklingen utav ett harmoniserat tekniskt ramverk för transport av farligt gods på väg, järnväg och inrikes vattenväg. Vilket inkluderar vägledning vid riskanalyser avseende bland annat referensscenarion, sannolikheter för dessa samt statistik avseende transporter inom EU. Detta är dock ett pågående arbete och resultat applicerbara för detta examensarbete har ännu inte redovisats. Däremot framgår att slutkonsekvenserna identifierade i detta arbete (massexplosion, splitter och kaststycken samt brand) även inkluderas vid utvecklingen av referensscenarier för klass 1 (ERA, 2020b). Utvecklingen av detta projekt är således mycket värdefullt att bevaka.

7.2 Slutsats

Detta arbete hade som målsättning att besvara följande frågeställningar.

Vilka angreppssätt presenteras i den vetenskapliga och grå litteraturen gällande beskrivning och kvantifiering av skadehändelser till följd av en olycka med farligt gods?

Vilka val av olycksscenarier och kvantifiering av delhändelser är lämpliga att göra vid händelseträdsanalys för transport av explosivt gods (klass 1)?

Hur förhåller sig händelseträdsanalys för transport av explosivt gods (klass 1) på väg som genomförs i praktiken idag till de rekommendationer som mynnar ut från föregående frågeställning?

Den inledande frågeställningen besvarades genom identifiering av viktiga parametrar och aspekter vid uppbyggnad av ett händelseträd. Här framgick att flera vägledningar var enade gällande vilka faktorer som är viktiga att ta hänsyn till vid beskrivning och kvantifiering av skadehändelser, såsom godsets egenskaper samt projektspecifika förutsättningar. Genom

litteraturstudien konstaterades att sådana faktorer först kan tas hänsyn till i enskilda projekt (se vidare bilaga 3). Däremot tillåter modellen för anpassning genom val av studerade riskgrupper och kvantifieringen av delhändelser. Modellen kan även göras mer eller mindre detaljerad beroende på uppdelningen i två eller tre scenarier avseende transporterad mängd.

Fokus för litteraturstudien var därefter den andra frågeställningen och resulterade i förslagen till uppbyggnad av händelsetråd för klass 1 (Figur 7 och Figur 8) samt möjlig kvantifiering av delhändelser (se bilaga 2). Dessutom jämfördes resultatet från litteraturstudien med hur riskanalyser genomförs idag. Den stora skillnaden erhöles vid indelning i riskgrupper samt identifiering av initierande händelser och möjliga skadehändelser. Varvid litteraturstudien visade på att även riskgrupp 1.2 och 1.3 kan vara viktiga att beakta vid genomförandet av en riskanalys. Vidare visade ett relativt stort antal källor att fordonsbränder med större sannolikhet inträffar till följd av andra orsaker än trafikolyckor. Vilket endast en tidigare riskanalys beaktat.

Avslutningsvis bedöms målet för arbetet vara uppfyllt. Arbetet har resulterat i förslag till uppbyggnad av händelsetråd för klass 1. Varvid olika tillvägagångsätt diskuterats utifrån litteraturen. Vidare har en diskussion gällande osäkerheter skett löpande genom arbetet och kompletterats genom känslighetsanalysen. Modellen bedöms även ge möjlighet för anpassning utefter projektspecifika förutsättningar.

Med hänsyn till problematiken för arbetet avseende en avsaknad av förankring i vetenskaplig litteratur vid riskanalyser anses arbetet tillföra betydelsefull vägledning vid framtida riskanalyser och studier. Genom en sammanställning av litteratur inom området ges även generell vägledning avseende vilka parametrar som är viktiga att ta hänsyn till vid genomförandet av riskanalyser för transport av farligt gods. Dessutom har förslag till kvantifiering av parametrar presenterats. Här konstateras att parameterosäkerhet fortfarande råder. Det anses trots allt vara av värde på grund av dess grund i vetenskaplig litteratur, samt då det möjliggjort för identifiering av områden intressanta för vidare utredning.

Förhoppningsvis kan arbetet ligga till grund för vidare utveckling och inkorporering av senare studier.

Referenser

- Abrahamsson, M. (2002). *Uncertainty in Quantitative Risk Analysis - Characterisation and Methods of Treatment*. Fire Safety Engineering and Systems Safety.
- Alvarsson, O. & Jansson, J. (2016). *Jämförelsestudie av riskbedömningar avseende vägtransport av farligt gods*. Riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2016. Report 5032. ISRN: LUTVDG/TVRH--5032—SE. Hämtad från LUP student papers: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8896423>
- Arksey, H. & O'Malley, L. (2005). *Scoping studies: towards a methodological framework*. International Journal of Social Research Methodology, 8:1, 19-32. <http://dx.doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Aven, T. (2010). *On how to define, understand and describe risk*. Reliability Engineering and System Safety, 95, 623-631. Doi:10.1016/j.ress.2010.01.011
- Bottelberghs, P.h. (2000). *Risk analysis and safety policy developments in the Netherlands*. Journal of Hazardous Materials, 71, 59-84. Doi: 10.1016/S0304-3894(99)00072-2
- Boholm, M. (2018). *How do Swedish Government agencies define risk?*. Journal of Risk Research, 6, 717-734. Doi: 10.1080/13669877.2017.1422782. Hämtad från: <https://doi.org/10.1080/13669877.2017.1422782>.
- Boverket. (2015). *Hälsa och klimat i samhällsplaneringen*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/halsa-och-klimat-i-samhallsplaneringen/>
- Boverket. (2016). *Rätt tätt – en idéskrift om förtätning av städer och orter (1523/2015)*. Hämtad från Boverkets hemsida: www.boverket.se
- Brissaud, F. & Rosner, E. (2015). *Probabilistic risk assessment considering parameter and model uncertainties*. 25th European Safety and Reliability Conference, Sep 2015, Zurich, France. Hal Id: hal-01199084. Hämtad från HAL archives - ouvertes: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01199084>
- Clauss, D.B. & Blower, D.F. *A Statistical Description of the Types and Severities of Accidents Involving Tractor Semi-Trailers, Updated Results for 1992-1996*. United States. doi:10.2172/14162. Hämtad från U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information: <https://www.osti.gov/biblio/14162-9MMmuP/webviewable/>
- Davies, P.A. (1990). *A methodology for the quantitative risk assessment of the road and rail transport of explosives*. Avhandling publicerad online 2018. Figshare. Loughborough University. Hämtad från: <https://hdl.handle.net/2134/32807>
- Davies, P.A. (1994). *Accidental initiation of condensed phase explosives during road and rail transport*. Journal of Hazardous Materials, 38, 1, 75-88. [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(93\)00003-L](https://doi.org/10.1016/0304-3894(93)00003-L)
- European Union Agency for railways (ERA). (2020a). *Inland TDG risk management framework*. ERAs webbplats: https://www.era.europa.eu/activities/transport-dangerous-goods/inland-tdg_en
- European Union Agency for railways (ERA). (2020b). Reference materials: Inland TDG RMF – Table of allocation of TDG scenarios. Hämtad från ERAs webbplats: https://www.era.europa.eu/activities/transport-dangerous-goods/inland-tdg_en

- ERM- Hong Kong Ltd. (2008). SAFEX Paper. *Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link: An overview of the explosives aspects in a quantitative risk analysis for the road transport of cartridged emulsion explosives and accessories through a densely populated area*. Hämtad från: <https://www.erm.com/globalassets/documents/publications/2011/safex-paper-hong-kong-express-rail-link2011.pdf>
- Health and Safety Executive (HSE)., Advisory Committee on Dangerous Substances (ACDS) (först publicerad 1995). *Risks from handling explosives in ports*. Hämtad från HSEs webbplats: <http://www.hse.gov.uk/pubns/books/explosives-ports.htm>
- Kaplan, G. & Garrick, B, J. (1981). *On the quantitative definition of risk*. Risk Analysis, Vol 1, No 1, pp 11-27, 1981.
- Larsson, N. & Ohlén, G. (2011). *Räddningstjänst vid olyckor med explosiva ämnen* (MSB 0108-10). Hämtad från MSBs webbplats: <https://www.msb.se/sv/publikationer/raddningstjanst-vid-olyckor-med-explosiva-amnen/>
- Levac, D., Colquhoun, H. och O'Brien, K. (2010). *Scoping studies: advancing the methodology*. Implementation Science, 5:69. Hämtad från: <http://www.implementationscience.com/content/5/1/69>
- Lunds Universitet. (2019). Databases A-Z, Licensed and free resources selected by librarians. Hämtad från: <http://emedialub.lu.se/ludwig.lub.lu.se/db/info/521>
- Länsstyrelsen Hallands län. COWI. (2011a). *Risikanalys av farligt gods i Hallands län*. Meddelande 2011:19. ISSN: 1101-1084. Hämtad från länsstyrelsen Hallands läns hemsida: <https://www.lansstyrelsen.se/halland/tjanster/publikationer/201119-risikanalys-av-farligt-gods-i-hallands-lan.html>
- Länsstyrelsen Hallands län. COWI. (2011b). *Risikanalys av farligt gods i Hallands län*. Meddelande 2011:19. *Bilagorna B-F*. Bilagorna har erhållits från länsstyrelsen i Halland län.
- Länsstyrelsen i Skåne län. Stenberg, C. A. (2007). *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – Bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*. ISSN: 1402-3393. Hämtad från länsstyrelsen Skånes hemsida: <https://www.lansstyrelsen.se/skane/tjanster/publikationer/riktlinjer-for-riskhansyn-i-samhallsplaneringen.html>
- Länsstyrelsen Malmöhus-län, Räddningsverket, Väg- och transportforskningsinstitutet (VTI). (1996). *Riskbedömning vid transport: handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*. Beställningsnummer: B20-194/96. Hämtad från: <https://rib.msb.se/dok.aspx?Tab=2&dokid=7018>
- Ministry of VROM (The Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment). (2005a). Dangerous substances, Publication Series 1 (PGS 1), *Methods for the determination of possible damage – to people and objects resulting from release of hazardous materials, 'Green Book'*. Hämtad från PGS management organization: <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/PGS1.html>
- Ministry of VROM (The Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment). (2005b). Dangerous substances, Publication Series 2 (PGS 2), *Methods for the calculation of Physical Effects – Due to the releases of hazardous materials (liquids and gases), 'Yellow Book'*. Hämtad från PGS management organization: <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/PGS2.html>

- Ministry of VROM (The Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment). (2005c). Publication Series on Dangerous Substances 3 (PGS 3), *Guideline for quantitative risk assessment, 'purple book'*. Hämtad från PGS management organization: <https://publicatiereeksgevaarlijkstoff.nl/publicaties/PGS3.html>
- Ministry of VROM (The Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment). (2005d). Publication Series on Dangerous Substances 4 (PGS 4), *Methods for determining and processing probabilities, 'Red Book'*. Hämtad från PGS management organization: <https://publicatiereeksgevaarlijkstoff.nl/publicaties/PGS4.html>
- Moreton, P. A. & Merrifield, R. (1994) *An investigation of the relative risks from the road transport of blasting explosives in maximum size loads of 5 tonnes and 16 tonnes*, HMSO, ISBN 0 85356381.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), VSL Systems AB. (2015). *Analys av olycks- och tillbudsrapporter, Studie av rapporter i samordnat olycks- och tillbudsrapporteringsystem (SOOT) 2014*. (MSB815). Hämtad från MSBs webbplats: <https://www.msb.se/sv/publikationer/analys-av-olycks--och-tillbudsrapporter/>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). (2019a). *Explosiva varor*. Hämtad från <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/brandfarligt-och-explosivt/explosiva-varor/>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). (2019b). *Transport av farligt gods väg och järnväg*. (MSB1386). Hämtad från MSBs webbplats: <https://www.msb.se/sv/publikationer/transport-av-farligt-gods--vag-och-jarnvag-20192020/>
- Nævestad, T.O. & Meyer, S. (2014). *A survey of vehicle fires in Norwegian road tunnels 2008–2011*. Tunneling and Underground Space Technology, 41 (2014), pp. 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.12.001>
- Oggero, A., Darbra, R.M., Muñoz, M., Planas, E. & Casal, J. (2006). *A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail*. Journal of Hazardous Materials, vol 133, 1-3, s.1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.053>
- PIARC Committee on Road Tunnels (C5). (1999). *Fire and smoke control in road tunnels*. PIARC Ref. 05.05.BEN. Hämtad från PIARCs webbplats: <https://www.piarc.org/en/order-library/3854-en-Fire%20and%20Smoke%20Control%20in%20Road%20Tunnels.htm>
- Rattei, G., Lentz, A., Kohl, B. (2014) *How frequent are fire in tunnels - Analysis from Austrian tunnel incident statistics*. In: Proceedings from the Seventh International Conference on Tunnel Safety and Ventilation, Graz, Austria. pp 5–11
- RIVM, National Institute of Public Health and Environment. (2009). *Reference manual Bevi Risk Assessments*. Hämtad från RIVM: <https://www.rivm.nl/documenten/reference-manual-bevi-risk-assessments-version-32>
- Scott Mills, G., Sprung J., Osborn, D. (2006). *Tractor/Trailer Accident Statistics*. SAND2006-7723. Sandia National Laboratories, Albuquerque NM 87185. Hämtad från United States Nuclear Regulatory Commission: <https://www.nrc.gov/docs/ML1212/ML12124A125.pdf>
- Sveriges kommuner och landsting (SKL). (2012). *Transporter av farligt gods, handbok för kommuners planering*. ISBN: 978-91-7164-804-4. Hämtad från SKLs hemsida: <https://webbutik.skl.se/sv/artiklar/transporter-av-farligt-gods-handbok-for-kommunernas-planering.html>

- Strindberg, F. & Svensson, J. (2018). *Antaganden i riskutredningar vid fysisk planering med avseende på transport av farligt gods och deras effekt på riskbilden*. Avdelningen för Riskhantering och Samhällssäkerhet, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2018. Hämtad från LUP student papers: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8959805>
- Trafikanalys. (2019a). *Bantrafik 2018*. Sveriges officiella statistik. Hämtad från Trafikanalys hemsida: <https://www.trafa.se/bantrafik/bantrafik/>
- Trafikanalys. (2019b). *Lastbilstrafik 2018*. Sveriges officiella statistik. Hämtad från Trafikanalys hemsida: <https://www.trafa.se/vagtrafik/lastbilstrafik/>
- Trafikverket. (2017a). *Transporter av farligt gods i samhällsplaneringen*. Hämtad från Trafikverkets webbplats <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Sakerhet-och-konflikter/Transporter-av-farligt-gods/>
- Trafikverket. (2017b). *PM Risk, Bilaga riskberäkningar för transport av farligt gods på väg*. Ärendenummer: TRV 2016/59300, TRV 2016/59301. Hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Vastra-gotaland/vi-bygger-och-forbatttrar/E20-GoteborgOrebro/e20-forbi-skara2/dokument/>
- Trafikverket. (2017c). *Planeringsförutsättningar för farligt gods*. Hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Sakerhet-och-konflikter/Transporter-av-farligt-gods/Planeringsforutsattningar-for-farligt-gods/>
- Trafikverket. (2018). *Bygg om eller bygg nytt- Kapitel 6 Trafiksäkerhet*. Hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/gallande-forutsattningar-och-indata/>
- Trafikverket. (2019). *Effektsamband*. Information hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/Effektsamband/>
- UNECE. (2020). *About the ADR European Agreement concerning the international Carriage of Dangerous Goods by Road*. Information hämtad från UNECEs webbplats: https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html
- Vägverket. (2008). *Djupstudieanalys av olyckor med tunga lastbilar – Effekter av åtgärder för en säker tung trafik*. Publikation 2008:136. Hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://trafikverket.ineko.se/se/tv16072>
- Working Party on the Transport of Dangerous Goods (WP. 15). (2008). *General Guideline for the Calculation of Risks in the Transport of Dangerous Goods by Road - An introduction to the basic principles of risk assessment for chapter 1.9 ADR*. Hämtad från UNECEs webbplats: https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_guidelines.html
- Xiaoli Ma, Yingying Xing, & Jian Lu. (2018). *Causation Analysis of Hazardous Material Road Transportation Accidents by Bayesian Network Using Genie*. Journal of Advanced Transportation, vol. 2018, Artikel ID 6248105, 12 sidor, <https://doi.org/10.1155/2018/6248105>.

Rättsliga källor

- ADR-S 2019. Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng (MSBFS 2018:5). Hämtat från Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps webbplats: <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/farligt-gods/lag-forordning-och-foreskrifter/adr-s/>
- ADR 2019, European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, Volume II. (2019). ECE/TRANS/275 (Vol.II). Economic Commission for Europe Inland Transport Committee (UNECE). New York och Geneva, 2018: United Nations. ISSN: 2411-8605. Hämtad från UNECEs webbplats: <https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2019/19contentse.html>
- ADR 2001, European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road. Annex B, Provisions concerning transport equipment and transport operations. (2001). Hämtad från UNECEs webbplats: <https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2001/english/contentse.html>

Bilaga 1: Litteratursökning

I denna bilaga redovisas i större detalj hur sökningen efter litteratur genomförts.

Inför sökningen efter litteratur identifierades relevanta sökord. För att erhålla dessa genomfördes en första scanning av litteraturen i Scopus genom att testa olika sökord och notera vilka begrepp som förekom i intressanta artiklar. Vidare togs hänsyn till att synonymer eller alternativa begrepp kan förekomma. Nedan presenteras de sökord vilka ansågs vara relevanta vid en inledande, mer generell litteratursökning.

- Event tree
- Dangerous/hazardous
- Goods/substances/materials /freight
- Scenario/accident/consequence
- Event/sequence
- Model/modeling
- QRA/ Probabilistic risk analysis
- Risk assessment/analysis
- Approach/guideline /recommendation
- Transport/road

Litteraturstudien inleddes med en strukturerad sökning i Scopus med syfte att identifiera vetenskaplig litteratur, vilken framförallt kunde besvara den första frågeställningen:

Vilka angreppssätt presenteras i den vetenskapliga och grå litteraturen gällande beskrivning och kvantifiering av skadehändelser till följd av en olycka med farligt gods?

Flera möjliga söksträngar testades och jämfördes för att identifiera så mycket relevant litteratur som möjligt. Slutligen applicerades följande söksträng:

```
(TITLE-ABS-KEY ((accident OR consequence OR scenario) AND (modelling OR model OR sequence OR event)) OR TITLE-ABS-KEY ("event tree") AND TITLE-ABS-KEY ((dangerous OR hazardous) PRE/1 (goods OR material OR freight)) AND TITLE-ABS-KEY ((transport OR road)))
```

I ett första skede genomfördes en avgränsning till artiklar publicerade 2010 eller senare, vilket resulterar i 241 artiklar. Detta val grundades dels i ambitionen att identifiera litteratur vilken representerar forskningsfronten, dels i en rimlighetsbedömning av mängden dokument som kan bearbetas. Mängden material aktuellt för vidare analys var dock begränsad. Därmed utvidgades sökningen till artiklar publicerade 2000 eller senare. Den största mängden ytterligare relevanta källor identifierades dock genom en analys av referenslistor för de artiklar publicerade 2010 eller senare. Här valdes att inte exkludera artiklar enbart på grund utav året för publicering. Istället bedömdes artiklarnas tillämpbarhet utefter dess innehåll. Således inkluderades artiklar publicerade tidigare än 2000 i arbetet.

Därefter övergick litteratursökningen till en motsvarande sökning efter grå och vetenskaplig litteratur i Google Scholar. Mot bakgrund av den begränsade mängden material som återfanns 2010 eller senare valdes inte att genomföra någon sådan begränsning här. Istället utgick sökningen från de mest relevanta sökträffarna, i storleksordningen 100 träffar.

Vidare genomfördes ytterligare litteratursökningar hos de sedan tidigare identifierade relevanta organisationerna och myndigheterna.

Därutöver genomfördes ytterligare sökning efter litteratur specifik för någon parameter i händelseträdet. I tabellen nedan redovisas de applicerade sökorden.

Tabell 15: Sökord vilka använts vid litteraturstudien för att finna ytterligare information angående en bestämd parameter/aspekt i händelsetrad.

Sökord	Aspekt/parameter i händelseträdet	Databas/källa
Truck, accident, fire, statistics	Initiering av fordonsbränder vid trafikolyckor	Scopus samt Google Scholar
Explosives, initiation, risk analysis/assessment, accident(s), transport	Möjliga skadehändelser	Scopus samt Google Scholar

Bilaga 6: Förteckning av litteratur vald för djupare analys

- Clauss, D.B. & Blower, D.F. *A Statistical Description of the Types and Severities of Accidents Involving Tractor Semi-Trailers, Updated Results for 1992-1996*. United States. doi:10.2172/14162. Hämtad från U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information: <https://www.osti.gov/biblio/14162-9MMmuP/webviewable/>
- Davies, P.A. (1990). *A methodology for the quantitative risk assessment of the road and rail transport of explosives*. Avhandling publicerad online 2018. Figshare. Loughborough University. Hämtad från: <https://hdl.handle.net/2134/32807>
- Davies, P.A. (1994). *Accidental initiation of condensed phase explosives during road and rail transport*. Journal of Hazardous Materials, 38, 1, 75-88. [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(93\)00003-L](https://doi.org/10.1016/0304-3894(93)00003-L)
- European Union Agency for railways (ERA). (2020a). *Inland TDG risk management framework*. ERAs webbplats: https://www.era.europa.eu/activities/transport-dangerous-goods/inland-tdg_en
- European Union Agency for railways (ERA). (2020b). Reference materials: Inland TDG RMF – Table of allocation of TDG scenarios. Hämtad från ERAs webbplats: https://www.era.europa.eu/activities/transport-dangerous-goods/inland-tdg_en
- ERM- Hong Kong Ltd. (2008). SAFEX Paper. *Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link: An overview of the explosives aspects in a quantitative risk analysis for the road transport of cartridge emulsion explosives and accessories through a densely populated area*. Hämtad från: <https://www.erm.com/globalassets/documents/publications/2011/safex-paper-hong-kong-express-rail-link2011.pdf>
- Health and Safety Executive (HSE)., Advisory Committee on Dangerous Substances (ACDS) (först publicerad 1995). *Risks from handling explosives in ports*. Hämtad från HSEs webbplats: <http://www.hse.gov.uk/pubns/books/explosives-ports.htm>
- Larsson, N. & Ohlén, G. (2011). *Räddningstjänst vid olyckor med explosiva ämnen* (MSB 0108-10). Hämtad från MSBs webbplats: <https://www.msb.se/sv/publikationer/raddningstjanst-vid-olyckor-med-explosiva-amnen/>
- Länsstyrelsen Hallands län. COWI. (2011a). *Risikanalys av farligt gods i Hallands län*. Meddelande 2011:19. ISSN: 1101-1084. Hämtad från länsstyrelsen Hallands läns hemsida: <https://www.lansstyrelsen.se/halland/tjanster/publikationer/201119-riskanalys-av-farligt-gods-i-hallands-lan.html>
- Länsstyrelsen Hallands län. COWI. (2011b). *Risikanalys av farligt gods i Hallands län*. Meddelande 2011:19. *Bilagorna B-F*. Bilagorna har erhållits från länsstyrelsen i Halland län.
- Länsstyrelsen i Skåne län. Stenberg, C. A. (2007). *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – Bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*. ISSN: 1402-3393. Hämtad från länsstyrelsen Skånes hemsida: <https://www.lansstyrelsen.se/skane/tjanster/publikationer/riktlinjer-for-riskhansyn-i-samhallsplaneringen.html>
- Länsstyrelsen Malmöhus-län, Räddningsverket, Väg- och transportforskningsinstitutet (VTI). (1996). *Riskbedömning vid transport: handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*. Beställningsnummer: B20-194/96. Hämtad från: <https://rib.msb.se/dok.aspx?Tab=2&dokid=7018>

- Ministry of VROM (The Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment). (2005c). Publication Series on Dangerous Substances 3 (PGS 3), *Guideline for quantitative risk assessment, 'purple book'*. Hämtad från PGS management organization: <https://publicatiereeksgevaarlijkstoff.nl/publicaties/PGS3.html>
- Moreton, P. A. & Merrifield, R. (1994) *An investigation of the relative risks from the road transport of blasting explosives in maximum size loads of 5 tonnes and 16 tonnes*, HMSO, ISBN 0 85356381.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), VSL Systems AB. (2015). *Analys av olycks- och tillbudsrapporter, Studie av rapporter i samordnat olycks- och tillbudsrapporteringsystem (SOOT) 2014*. (MSB815). Hämtad från MSBs webbplats: <https://www.msb.se/sv/publikationer/analys-av-olycks--och-tillbudsrapporter/>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). (2019a). *Explosiva varor*. Hämtad från <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/brandfarligt-och-explosivt/explosiva-varor/>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). (2019b). *Transport av farligt gods väg och järnväg*. (MSB1386). Hämtad från MSBs webbplats: <https://www.msb.se/sv/publikationer/transport-av-farligt-gods--vag-och-jarnvag-20192020/>
- Nævestad, T.O. & Meyer, S. (2014). *A survey of vehicle fires in Norwegian road tunnels 2008–2011*. Tunneling and Underground Space Technology, 41 (2014), pp. 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.12.001>
- Oggero, A., Darbra, R.M., Muñoz, M., Planas, E. & Casal, J. (2006). *A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail*. Journal of Hazardous Materials, vol 133, 1-3, s.1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.053>
- PIARC Committee on Road Tunnels (C5). (1999). *Fire and smoke control in road tunnels*. PIARC Ref. 05.05.BEN. Hämtad från PIARCs webbplats: <https://www.piarc.org/en/order-library/3854-en-Fire%20and%20Smoke%20Control%20in%20Road%20Tunnels.htm>
- Rattei, G., Lentz, A., Kohl, B. (2014) *How frequent are fire in tunnels - Analysis from Austrian tunnel incident statistics*. In: Proceedings from the Seventh International Conference on Tunnel Safety and Ventilation, Graz, Austria. pp 5–11
- RIVM, National Institute of Public Health and Environment. (2009). *Reference manual Bevi Risk Assessments*. Hämtad från RIVM: <https://www.rivm.nl/documenten/reference-manual-bevi-risk-assessments-version-32>
- Scott Mills, G., Sprung J., Osborn, D. (2006). *Tractor/Trailer Accident Statistics*. SAND2006-7723. Sandia National Laboratories, Albuquerque NM 87185. Hämtad från United States Nuclear Regulatory Commission: <https://www.nrc.gov/docs/ML1212/ML12124A125.pdf>
- Sveriges kommuner och landsting (SKL). (2012). *Transporter av farligt gods, handbok för kommuners planering*. ISBN: 978-91-7164-804-4. Hämtad från SKLs hemsida: <https://webbutik.skl.se/sv/artiklar/transporter-av-farligt-gods-handbok-for-kommunernas-planering.html>
- Trafikverket. (2017a). *Transporter av farligt gods i samhällsplaneringen*. Hämtad från Trafikverkets webbplats <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Sakerhet-och-konflikter/Transporter-av-farligt-gods/>

- Trafikverket. (2017b). *PM Risk, Bilaga riskberäkningar för transport av farligt gods på väg*. Ärendenummer: TRV 2016/59300, TRV 2016/59301. Hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Vastra-gotaland/vi-bygger-och-forbatttrar/E20-GoteborgOrebro/e20-forbi-skara2/dokument/>
- Trafikverket. (2017c). *Planeringsförutsättningar för farligt gods*. Hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Sakerhet-och-konflikter/Transporter-av-farligt-gods/Planeringsforutsattningar-for-farligt-gods/>
- Trafikverket. (2018). *Bygg om eller bygg nytt- Kapitel 6 Trafiksäkerhet*. Hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/gallande-forutsattningar-och-indata/>
- Trafikverket. (2019). *Effektsamband*. Information hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/Effektsamband/>
- Vägverket. (2008). *Djupstudieanalys av olyckor med tunga lastbilar – Effekter av åtgärder för en säker tung trafik*. Publikation 2008:136. Hämtad från Trafikverkets webbplats: <https://trafikverket.ineko.se/se/tv16072>
- Working Party on the Transport of Dangerous Goods (WP. 15). (2008). *General Guideline for the Calculation of Risks in the Transport of Dangerous Goods by Road - An introduction to the basic principles of risk assessment for chapter 1.9 ADR*. Hämtad från UNECEs webbplats: https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_guidelines.html
- Xiaoli Ma, Yingying Xing, & Jian Lu. (2018). *Causation Analysis of Hazardous Material Road Transportation Accidents by Bayesian Network Using Genie*. Journal of Advanced Transportation, vol. 2018, Artikel ID 6248105, 12 sidor, <https://doi.org/10.1155/2018/6248105>.

Rättsliga källor

- ADR-S 2019. Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng (MSBFS 2018:5). Hämtat från Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps webbplats: <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/farligt-gods/lag-forordning-och-foreskrifter/adr-s/>
- ADR 2019, European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, Volume II. (2019). ECE/TRANS/275 (Vol.II). Economic Commission for Europe Inland Transport Committee (UNECE). New York och Geneva, 2018: United Nations. ISSN: 2411-8605. Hämtad från UNECEs webbplats: <https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2019/19contentse.html>
- ADR 2001, European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road. Annex B, Provisions concerning transport equipment and transport operations. (2001). Hämtad från UNECEs webbplats: <https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2001/english/contentse.html>

Bilaga 3: Sammanfattning: kvantifiering av delhändelser

I tabellerna nedan presenteras förslag kvantifiering av delhändelser genom litteraturstudien. Observera att statistiken till grund för skattningarna utgår i flera fall från allvarliga olyckor varvid dödsfall inträffat. Ingångsfrekvensen för händelseträdet avseende trafikolyckor bör således vara skattad utifrån liknande statistiskt underlag. För vidare diskussion, se avsnitten gällande kvantifiering av delhändelser i huvudrapporten.

Vidare förekommer såväl ansatta triangel fördelningar som likformiga fördelningar. Triangel fördelningar appliceras då ett mer troligt värde identifierats genom litteraturen. Likformiga fördelningar motsvarar däremot ett intervall varvid samtliga värden anses lika troliga.

Tabell 16: Sammanfattning av förslag till kvantifiering av delhändelser i händelseträdet med den utlösande händelsen: trafikolycka på väg vid transport av farligt gods klass 1.

Trafikolycka Klass 1			
Delhändelse	Sannolikhetsfördelning	Punktskattning	Källa till grund för skattningen/kommentar
EX/II	Triangel fördelning (0,8;0,9;1)	0.9	Länsstyrelsen Hallands län & COWI 2011a samt egen bedömning
EX/III	1-sannolikheten för EX/II	0.1	
Stötinitiering	Triangel fördelning (0,0001;0,001;0,01)	0.001	HSE 1995 och delvis Davies 1994 & 1990
Ingen stötinitiering	1-sannolikheten för stötinitiering	0.999	
Fordonsbrand	Triangel fördelning (0,02;0,05;0,08)	0.05	Trafikverket 2017b (med andrahandskällor för statistik) och Clauss & Blower 1999
Ingen brand	1- sannolikheten för fordonsbrand	0.95	
Brandspridning till lasten (EX/II)	Triangel fördelning (0,2;0,4;0,5)	0.4	Clauss & Blower 1999 och Davies 1990 samt egen bedömning utifrån ADR-S MSBFS 2018:5
Ingen brandspridning (EX/II)	1- sannolikheten för brandspridning (EX/II)	0.6	
Brandspridning till lasten (EX/III)	Triangel fördelning (0,2;0,3;0,5)	0.3	Clauss & Blower 1999 och Davies 1990 samt egen bedömning utifrån ADR-S MSBFS 2018:5

Ingen brandspridning (EX/III)	1- sannolikheten för brandspridning (EX/III)	0.7	
Initiering (explosion)	1	1	HSE 1995
Ingen initiering (explosion)	0	0	

Tabell 17: Sammanfattning av förslag till kvantifiering av delhändelser i händelseträdet med den utlösande händelsen: fordonsbrand vid transport av farligt gods klass 1 (brand till följd av annat än trafikolycka).

Fordonsbrand Klass 1			
Delhändelse	Sannolikhetsfördelning	Punktskattning	Källa för skattningen
EX/II	Triangelfördelning (0,8;0,9;1)	0.9	Länsstyrelsen Hallands län & COWI 2011a samt egen bedömning
EX/III	1-sannolikheten för EX/II	0.1	
Brandspridning till lasten (EX/II)	Triangelfördelning (0,05;0,08;0,15)	0.08	Clauss & Blower 1999 och Davies 1990 samt egen bedömning utifrån ADR-S MSBFS 2018:5
Ingen brandspridning (EX/II)	1- sannolikheten för brandspridning (EX/II)	0.92	
Brandspridning till lasten (EX/III)	Triangelfördelning (0,05;0,05;0,15)	0.05	Clauss & Blower 1999 och Davies 1990 samt egen bedömning utifrån ADR-S MSBFS 2018:5
Ingen brandspridning (EX/III)	1- sannolikheten för brandspridning (EX/III)	0.95	
Initiering (explosion)	1	1	HSE 1995
Ingen initiering (explosion)	0	0	

Bilaga 4: Litteraturstudie: plats- och projektspecifika förutsättningar

I detta avsnitt presenteras resultat från litteraturstudien avseende plats- och projektspecifika förutsättningar vilka förväntas ha en inverkan på risknivån avseende sannolikheten för respektive olycksscenario. Dessutom redogörs för hur riskanalyserna studerade av Alvarsson och Jansson (2016) hanterar sådana förutsättningar. Avslutningsvis ges rekommendationer utifrån litteraturstudien.

Vikten av att ta hänsyn till plats- och projektspecifika förutsättningar belyses i flera riktlinjer avseende transport av farligt gods. Exempelvis rekommenderas i riktlinjen från The Working Party on the Transport of Dangerous Goods (WP. 15, 2008) att inkorporera en utredning av infrastrukturen och dess inverkan på risknivån. Med infrastrukturen avses bland annat vägtyp, hastighetsbegränsningar och säkerhetsinstallationer, vilka inkluderas för vidare utredning i detta arbete. Vidare poängteras att speciell hänsyn behöver tas till tunnelpassager och järnvägs korsningar. Dessa aspekter utreds dock inte inom ramen för detta arbete.

Hastighet och vägtyp

Hastigheten har en betydande inverkan på risknivån, vilket poängteras i Sveriges kommuner och landstings handbok (2012) för kommuners planering gällande transport av farligt gods. Enligt SKL påverkar hastigheten trafiksäkerheten på två sätt. Dels påverkar hastigheten förarens möjlighet att förhindra att en olycka ska inträffa. Dels påverkar hastigheten konsekvensen till följd av en olycka. Exempelvis har det redan konstaterats att sannolikheten för en stötinitierad explosion kan förväntas bero på typen av olycka. Varvid olyckor med större kollisionsvåld, högre hastighet, kan förväntas med större sannolikhet resultera i en explosion. SKL poängterar dessutom att sänkta hastigheter genererar störst positiv förändring avseende skadeföljden vid svårare olyckor. Således finns tydliga belägg för att ta hänsyn till hastigheten vid en riskanalys gällande transport av farligt gods.

Hastighetens betydelse poängteras även av Trafikverket i deras sammanställning av effektsamband avseende förbättringsåtgärder för trafiksäkerhet (Trafikverket, 2018). Trafikverket har tagit fram en dokumentserie kallad *effektsamband för transportsystemet*, vilken ska fungera som ett stöd vid planering, projektering och uppföljning av åtgärder inom transportsystemet (Trafikverket, 2019). Till grund för de olika rapporterna ligger den samlade kunskapen i Sverige, men även vad som ansetts vara värdefull kunskap från andra länder. Trafikverket (2018) presenterar ett verktyg för att bedöma effekten på trafiksäkerheten till följd av lägre hastigheter, den så kallade potensmodellen.

$$\begin{aligned} & \text{Andel olyckor med } V_{\text{efter}} \text{ jämfört med } V_{\text{före}} \text{ (avser viss skadegrad)} \\ & = (V_{\text{efter}}/V_{\text{före}})^{\text{potens}} \end{aligned}$$

Det ansatta värdet för potensen beror dels på vilken skadegrad som avses (antal dödade, svårt skadade eller lindrigt skadade), men även på vilken omgivningsmiljö (tätort eller landsbygd) som avses (Trafikverket, 2018). Här bedöms störst effekter erhållas avseende olyckor med skadeföljden dödsfall. Effekten av hastighetsändringar är dock lägre i tätortsmiljö. Vidare bygger modellen på antagandet att trafikmiljön inte ändras i övrigt (Trafikverket, 2018).

Denna modell kan således användas vid en riskanalys för att ta hänsyn till platsspecifika förutsättningar avseende gällande hastighet för vägen. Framförallt är förändringar avseende de mer allvarliga olyckorna intressanta då dessa kan förväntas innebära ett krocksvåld med risk för påverkan på lasten.

Det är inte endast den gällande hastighetsbegränsningen som påverkar med vilken hastighet fordon framförs. Trafikflödet har även en betydande inverkan. Trafikverket (2018) ger två tydliga exempel på hur trafikflödet påverkar risken för allvarligare olyckor. Det första exemplet utgörs av en väg på landet med högt trafikflöde. Det stora flödet innebär att antalet flerfordonsolyckor ökar och det finns många situationer som kan leda till lindriga olyckor. Det höga trafikflödet innebär å andra sidan ett bundet flöde där de tunga fordonen i stor grad avgör med vilken hastighet kön kan ta sig framåt. Fordon färdas därmed med jämna mellanrum och med samma hastighet, vilket i sin tur innebär att krockvåldet begränsas kraftigt. Konsekvensen vid olyckor under dessa förutsättningar kan således förväntas vara betydligt lindrigare (Trafikverket, 2018), vilket är en viktig aspekt vid transport av farligt gods.

Det andra exemplet utgörs av en väg på landet med lågt trafikflöde och fria fordon. Här är risken för olyckor med stort krockvåld betydligt högre i jämförelse med förgående fall, vilket bekräftas av olycksstatistiken för den studerade sträckan (Trafikverket, 2018). Flera mötesolyckor med skadeföljden dödsfall har inträffat. Vidare framförs fordon under stora delar av dygnet, framförallt under nattetid, med hastigheter (110 km/h) över den tillåtna (90 km/h). Den studerade vägsträckan innefattar även några på varandra följande snäva kurvor. Här konstateras att fordon färdas med en betydligt lägre hastighet, cirka 50 km/h (Trafikverket, 2018). I detta fall utgör således kurvorna en riskreducerande effekt avseende antalet svåra olyckor.

Ytterligare en aspekt vilken påverkar hastighetsval är vägbredden. En smalare väg innebär generellt sätt att fler mötesolyckor inträffar till följd av ett begränsat manöverutrymme (Trafikverket, 2018). En bredare väg medför däremot färre olyckor. Mötesolyckorna på dessa vägar innebär dock ofta ett större krockvåld på grund utav de höga hastigheter som erhålls på dessa vägar. Ökad bredd innebär nämligen en ökad komfort och därmed framförs fordon generellt sätt med högre hastigheter. Vid en analys av olyckor inträffade under perioden 1994-1999 framgår att på smala vägar (6-7 m) var det 25-30 % som dog eller skadades allvarligt (Trafikverket, 2018). Andelen var dubbelt så hög på breda vägar (12-13 m).

Vidare belyser Trafikverket (2018) även skillnaden avseende skadeföljd vid olyckor på motorväg i jämförelse med motortrafikled. Den sammantagna olycksrisken är ungefär densamma, men andelen olyckor med dödligt utfall eller svårt skadade är ungefär 4-6 ggr så hög på motortrafikled.

Vägverket (2008) (numera Trafikverket) har även studerat specifikt olyckor involverat tunga lastbilar. Här bekräftas betydelsen av gällande hastighetsbegränsning. Vid en analys av olyckor involverat tunga lastbilar med dödsfall som följd mellan åren 2000-2007 framgår att antalet omkomna är cirka det dubbla på 90-väg i jämförelse med 70-väg. Störst skillnad erhålls dock vid en jämförelse med 90-väg mot motorväg (110 km/h). Antalet omkomna på

motorväg var 2007 endast en fjärdedel i jämförelse med på 90-väg. Detta kan förklaras genom säkerheten på motorväg avseende mötesolyckor samt omkörningsolyckor på grund utav mittseparering. Utav samtliga studerade riskreducerande effekter ger mittseparering den enskilt största effekten enligt Vägverkets utredning (2008). Varvid antalet döda skulle kunna minska med 54 % om samtliga vägar med tunga fordon var mittseparerade. Genom en mittseparering antas samtliga mötes- och omkörningsolyckor undvikas. En vidare diskussion avseende ytterligare riskreducerande åtgärder följer i nästa avsnitt.

Riskreducerande åtgärder och vägens närmiljö

Redan i förgående avsnitt presenterades en riskreducerande åtgärd, mittseparering av väg, vilken bedöms kraftigt reducera antalet olyckor vilka kan bedömas leda till en allvarlig farligt gods olycka. Därutöver går det att återfinna sådana riskreducerande åtgärder vilka främst avser att minska konsekvenserna vid en trafikolycka. Här utgör vägräcke ett exempel. Trafikverket (2018) anser detta vara den mest effektiva åtgärden avseende singelolyckor. Varvid åtminstone 90 % av de mest allvarliga olyckorna bedöms undvikas. En viktig aspekt är dock huruvida dessa vägräcken håller för tunga fordon.

SKL (2012) presenterar de olika typer av vägräcken som finns samt deras bärförmåga. Bärförmågan beror dels på ett fordon hastighet vid påkörning, dels på påkörningsmassan. Det starkaste vägräcket klarar en påkörningsmassa av 900 kg vid 100 km/h och 38000 kg vid 65 km/h. SKL konstaterar att en fullt lastad tankbil med släp överskrider den högsta påkörningsmassan. Vägräcken kan således inte förväntas vara ett fullständigt skydd. Flertalet scenarier kan dock förhindras och därigenom utgör vägräcken trots allt en värdefull åtgärd. I riskanalysen för transport av farligt gods i Hallands län (Länsstyrelsen Hallands län & COWI, 2011a) utgör förstärkta vägräcken (i klass med det presenterat ovan) en möjlig skyddsåtgärd vid etablering av bebyggelse närmre vägen än de rekommenderade skyddsavstånden. Här poängteras även vikten av att inga vassa kanter eller utstående delar förekommer. Dessa riskerar annars att skada lasten.

Vikten av att ta hänsyn till fasta hinder vilka kan skada lasten belyses även av SKL (2012) samt av Trafikverket (2018). Sådana hinder kan utgöras av exempelvis murar och stubbar (SKL, 2012). Här utgör sidoområdesrensning en möjlig åtgärd (Trafikverket, 2018). Genom en sådan rensning kan mer allvarliga avåkningsolyckor undvikas och sannolikheten för en skadad tank kan förväntas minska. I MSBs (2015) utredning av tidigare farligt godsolyckor framgår att 20 utav 79 trafikolyckor registrerats som *avåkning* eller *utanför vägbanan*. Således kan en sidoområdesrensning vara mycket betydelsefull avseende farligt godsolyckor. Litteraturen möjliggör dock inte för någon kvantifiering avseende effekten till följd av sidoområdesrensning.

Den dominerande olyckstypen, avseende trafikolyckor, identifierad i MSBs utredning (2015) är dock vältningsolyckor (53 händelser), vilka i flera fall sammanfaller med avåkningsolyckor. Då ett tungt fordon hamnar med ett eller flera hjul utanför asfaltskanten finns en risk för att fordonet välter (Trafikverket, 2018). Utfallet beror till stor del på släntlutningen (Trafikverket, 2018). SKL (2012) refererar till en tidigare utredning genomförd av Vägverket (1997) varvid vägutformningens betydelse för farligt godsolyckor analyserats. Genom en analys av tidigare olyckor kunde Vägverket konstatera att ungefär 70 % av

olyckorna vid släntlutningar med lutning 1:3-1:4 medförde läckage av farligt gods. Andelen minskade vid flackare lutning.

Vägverket (1997) kunde även konstatera att vägren samt stödremsa ofta gav vika för tunga fordon, vilket även är en viktig aspekt avseende risken för vältningsolyckor. Denna aspekt belyses bland annat i en rapport utgiven utav Nordiskt Vägforum (NVF) 2012 (Granlund et al.), ett nordiskt branschsamarbete bestående av såväl medlemmar från den offentliga som från den privata sektorn. Författarna menar att en vägkant med hög bärighet är viktigt av flera säkerhetsskäl. Däribland minskar risken för rundslagning av tunga fordon. Förstärkta vägrenar och stödremсор utgör därmed en riskreducerande åtgärd och rekommenderas även av Vägverket (1997).

Vårt att nämna i detta sammanhang är även applicering av farligt godsindex enligt den så kallade VTI-modellen. Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) har utvecklat en modell för att beräkna frekvensen för farligt godsolyckor (Länsstyrelsen Malmöhus-län, Räddningsverket, Väg- och transportforskningsinstitutet (VTI), 1996). Med farligt godsolycka avses här olyckor varvid det transporterade godset ”kommit ut”. Alltså olyckor vilka resulterar i något typ av läckage. Vid beräkning av andelen olyckor vilka resulterar i sådana farligt godsolyckor appliceras ”index för farligt godsolycka”. Dessa index tar hänsyn till gatu-/vägtyp, hastighetsgräns samt bebyggelsemiljö. Indexen beror på andelen singelolyckor samt hastighetsgräns. Varvid ett högre antal singelolyckor och högre hastighet resulterar i ett högre index.

Modellen tar dock ingen hänsyn till typen av gods som transporteras. Följaktligen bedöms indexens applicerbarhet för frekvensberäkningar avseende olyckor involverat klass 1 begränsad. Vid identifieringen av olycksscenarier i detta arbete har konstaterats att något läckage av explosivt gods inte behöver ske för att initiera en explosion. Det är istället olyckor med kraftigt kollisionsvåld (stötpåverkan) eller fordonsbränder som utgör en betydande fara. Möjligen kan farligt godsindex användas för att uppskatta andelen olyckor vilka bedöms medföra en kraftig stötpåverkan (ingångsfrekvensen till händelseträdet avseende trafikolycka). Någon vidare utredning avseende lämpligheten i att applicera dessa index genomförs dock inte inom ramen för detta arbete.

Jämförelse med hur riskanalyser genomförs i Sverige

Alvarsson och Jansson (2016) konstaterar i sin jämförelsestudie att någon justering av sannolikheter för de olika skadehändelserna avseende platsspecifika förhållanden eller typ av olycka inte genomförts.

Rekommendationer utifrån litteraturen

Utifrån litteraturen är det tydligt att platsspecifika förutsättningar är av stor betydelse för konsekvensen till följd av en farligt godsolycka. Exempelvis är hastigheten, vilken i sin tur beror på såväl vägtypen som trafikflödet, avgörande för vilken typ av olycka som kan förväntas ske. Då höga hastigheter erhålls bör andelen olyckor vilka kan förväntas påverka det explosiva godset förväntas vara större. Om tillräcklig olycksstatistik inte kan erhållas för en specifik väg är applicering av potensmodellen ett alternativt tillvägagångsätt vid skattning av andelen olyckor vilka kan förväntas leda till stötinitierad explosion.

Enligt SKL (2012) är olyckor vilka kan förväntas leda till svåra personskador eller dödsfall av störst intresse vid en riskanalys för transport av farligt gods. Således rekommenderas att skadegraden antal dödade och svårt skadade utgör utgångspunkt vid applicering av potensmodellen. Ytterligare ett alternativ är att utgå från VTI-modellen och farligt godsindex. Modellens tillämpbarhet bör dock utredas vidare.

Därutöver rekommenderas att vägens utformning samt befintliga skyddsåtgärder studeras. Här bedöms framförallt vägräcken och mittseparering reducera antalet olyckor med stort kollisionsvåld. Varvid vägräcken kan förväntas reducera antalet allvarliga singelolyckor med 90 % enligt Trafikverket (2018). Då singelolyckor tycks vara den dominerande olyckstypen för farligt godsfordon enligt MSBs studie (2015) bör vägräcken utgöra en av de mest viktiga riskreducerande åtgärderna sett till farligt godsolyckor. Mittseparering kan i sin tur förväntas reducera antalet omkörnings- och mötesolyckor i samma storleksgrad. Därutöver kan vägar, med svaga vägrenar och stödremсор, antas medföra en ökad risk för vältningsolyckor. Här är även släntlutningen av stor betydelse, varvid en lutning större eller lika med 1:3 medför en större risk för påverkan på lasten.

Bilaga 5: Metod känslighetsanalys

I denna bilaga redovisas vilka fördelningar som applicerades vid Monte Carlo simuleringen i @Risk (Excel) samt hur den totala sannolikheten för initiering (explosion) beräknades. Vidare genomfördes simuleringen med 1000 iterationer. För mer information avseende valda sannolikhetsfördelningar, se bilaga 2.

Tabell 18: Ansatta fördelningar vid känslighetsanalys för den utlösande händelsen fordonsbrand (ej till följd av trafikolycka) vid transport av farligt gods klass 1. Samt beräkning av sannolikhet för explosion för respektive olycksscenario.

Känslighetsanalys: sannolikheten för explosion	
Fordonsbrand Klass 1 (ej trafikolycka)	Sannolikhetsfördelning
EX/II	=RiskTriang(0,8;0,9;1)
EX/III	=1-B46
Brandspridning till lasten (EX/II)	=RiskTriang(0,05;0,08;0,15)
Ingen brandspridning (EX/II)	=1-B48
Brandspridning till lasten (EX/III)	=RiskTriang(0,05;0,05;0,15)
Ingen brandspridning (EX/III)	=1-B50
Initiering (explosion)	=1
Ingen initiering (explosion)	=1-B52
Sannolikhet explosion (EX/II)	=RiskOutput("Sannolikhet explosion (EX/II) - fordonsbrand")+B46*B48*B52
Sannolikhet explosion (EX/III)	=RiskOutput("Sannolikhet explosion (EX/III) - fordonsbrand")+B47*B50*B52
Total sannolikhet explosion	=RiskOutput("Total sannolikhet explosion - fordonsbrand")+SUMMA(B54:B55)

Tabell 19: Ansatta fördelningar vid känslighetsanalys för den utlösande händelsen trafikolycka vid transport av farligt gods klass 1. Samt beräkning av sannolikhet för explosion för respektive olycksscenario.

Känslighetsanalys: sannolikheten för explosion	
Trafikolycka Klass 1	Sannolikhetsfördelning
EX/II	=RiskTriang(0,8;0,9;1)
EX/III	=1-B25
Stötinitiering	=RiskTriang(0,0001;0,001;0,01)
Ingen stötinitiering	=1-B27
Fordonsbrand	=RiskTriang(0,02;0,05;0,08)
Ingen brand	=1-B29
Brandspridning till lasten (EX/II)	=RiskTriang(0,2;0,4;0,5)
Ingen brandspridning (EX/II)	=1-B31
Brandspridning till lasten (EX/III)	=RiskTriang(0,2;0,3;0,5)
Ingen brandspridning (EX/III)	=1-B33
Initiering (explosion)	=1
Ingen initiering (explosion)	=1-B35
Sannolikhet explosion genom stötinitiering (EX/II)	=RiskOutput("Sannolikhet explosion genom stötinitiering (EX/II) - trafikolycka")+B25*B27
Sannolikhet explosion genom fordonsbrand (EX/II)	=RiskOutput("Sannolikhet explosion genom fordonsbrand (EX/II)")+B25*B28*B29*B31*B35
Sannolikhet explosion genom stötinitiering (EX/III)	=RiskOutput("Sannolikhet explosion genom stötinitiering (EX/III) - trafikolycka")+B26*B27
Sannolikhet explosion genom fordonsbrand (EX/III)	=RiskOutput("Sannolikhet explosion genom fordonsbrand (EX/III)")+B26*B28*B29*B33*B35
Total sannolikhet explosion	=RiskOutput("Total sannolikhet explosion - trafikolycka")+SUMMA(B37:B40)

Bilaga 6: Tidigare genomförda riskanalyser

I tabellen nedan redovisas resultat från jämförelsestudien genomförd av Alvarsson och Jansson (2016), vilket legat till grund för analys i detta arbete.

Tabell 20: Resultat hämtat från Alvarsson och Janssons jämförelsestudie av genomförda farligt-gods-riskanalyser (2016). Tabellen gäller för händelseträdsanalys avseende klass 1 (explosiva ämnen). * = riskanalysen är genomförd av samma konsultbolag.

Uppdelning slutkonsekvens (antal riskanalyser)	Ansatta explosionslaster	Sannolikhet för respektive explosionslast	Skattade sannolikheter för explosion givet olycka
Punktskattning (4)	16 ton	1	0,55 %
	15 ton	1	9 %
	Framgår ej	1	10 %
	15 ton	1	1,52 %
Liten/stor explosion (4)	(0.1, 16) ton	(98, 2) %	(0.0196, 0.0004) % Lågt pga. index-användning
	(0.02, 16) ton	(98, 2) %	(0.684, 0.00596) %
	(1, 16) ton	(94, 6) %	(0.0535, 0.0034) % Lågt pga. index-användning
	(0.2, 6) ton	(98, 2) %	(1.24, 0.024) %
Liten/mellan/stor explosion (4)	(0.15, 1.5, 16) ton *	(85, 14.5, 0.5) % *	(0.250, 0.043, 0.0015) % *
	(0.5, 3, 16) ton	(80, 15, 5) %	(0.830, 0.155, 0.052) %
	(0.15, 1.5, 16) ton *	(85, 14.5, 0.5) % *	(0.250, 0.043, 0.0015) % *
	(0.15, 1.5, 16) ton *	(85, 14.5, 0.5) % *	(0.250, 0.043, 0.0015) % *
Fördelning baserad på RIKTSAM (1)	Framgår ej hur denna ser ut, men härrör från konsekvensberäkning i RIKTSAM		0.3 %
Fördelning (RIKTSAM)	Likformig fördelning (10000, 15000) (kg)		10 % (detonation)