

## **Klimatsmarta och förnybara bränslen vid transportarbete under mark: En förstudie av fordonsgas och dieseletanol till fordon i arbetstunnlar**

(1 bilaga)

**Beteckning:** 8P07804



## Klimatsmarta och förnybara bränslen vid transportarbete under mark: En förstudie av fordonsgas och dieseletanol till fordon i arbetstunnlar

(1 bilaga)

**Beteckning:** 8P07804

### Beställare

Stockholms Stad, Miljöförvaltningen  
Per Erik Österlund

Biogas Öst med BioDriv Öst  
Björn Isaksson

Scania Sverige  
Henrik Dahlsson

Lantmännen Agroetanol  
Mårten Larsson

SEKAB Biofuels & Chemicals  
Sofia Winternell

Volvo Trucks  
Lars Mårtensson

### Kontaktperson RISE

Jonatan Gehandler  
Safety  
010-516 50 90  
jonatan.gehandler@ri.se

### RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress  
Box 857  
501 15 BORÅS

Besöksadress  
Brinellgatan 4  
504 62 BORÅS

Tfn / Fax / E-post  
010-516 50 00  
033-13 55 02  
info@ri.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte RISE i förväg skriftligen godkänt annat.

## Innehållsförteckning

<b>Inledning</b>	<b>2</b>
<b>Syfte</b>	<b>4</b>
<b>Avgränsningar</b>	<b>4</b>
<b>Rekommendation</b>	<b>5</b>
<b>Slutsatser</b>	<b>5</b>
<b>Bilaga 1: Kvalitativ Riskanalys</b>	<b>7</b>

## Inledning

Sverige har höga ambitioner om att snart bli ett fossilfritt land. Detta påverkar hela samhället inklusive gruvnäring, väginfrastruktur och transportsektor. Samtidigt vill regeringen minska Sveriges sårbarhet genom lokala och hållbart producerade drivmedel som gör viktiga samhällsfunktioner självförsörjande och därmed ökar den civila beredskapen (Naturvårdsverket, 2019). Stockholm Stad har ambitionen att bli fossilfri som organisation 2030 och staden ska vara fossilfri 2040. Samtidigt är en stor mängd tunnelprojekt pågående eller planerade i Stockholm, som exempel:

- Ny tunnelbana till Nacka, Arenastaden och förlänga Blå linje till Barkarby och på sikt ny tunnelbana Odenplan till Älvsjö station.
- Ny avloppstunnel från Bromma till Henriksdal
- Ny tunnel för högspänningskablar genom Stockholm
- Förbifart Stockholm håller på att byggas.

En liknande problematik finns i Göteborg med till exempel bygget av Västlänken samt inom gruvsektorn där stora mängder bergmaterial transporteras under mark. På medellång sikt planeras det även för nya höghastighetsbanor och kringfartsleder runt urbana centrum som antagligen medför arbete under jord.

För arbete i tunnlar och gruvor gäller Arbetsmiljöverkets föreskrift för berg- och gruvarbete (AFS 2010:1). I 15 § står: ”Bensin, etanol eller gas får inte användas som bränsle för förbränningsmotorer under jord. Utryckningsfordon får vara bensin-, etanol- eller gasdrivna.” Ett tillägg till 15 § framhåller att flampunkten hos valda produkter ska beaktas, vilket måste tolkas som att en hög flampunkt ska eftersträvas. Föreskriften förtydligar också att det vid arbete i färdigställda berganläggningar är tillåtet att använda fordon som använder bensin, etanol eller gas som bränsle när inget bergarbete pågår.

En elektrifiering av samhället pågår vilket omfattar all fordonstrafik. Gruvor är ofta långsiktiga arbetsplatser med god elförsörjning. För arbetstunnlar är situationen den motsatta, en tillfällig arbetsplats med begränsad elkraftförsörjning, vilket gör att en betydande elektrifiering av arbetet kommer att vara mycket svår att genomföra. För arbetsmaskiner som används under mark finns idag inga alternativ till dieseldrivna maskiner på marknaden att vänta. För lastbilar finns det dock flera alternativ till diesel på marknaden. Branschen kan delas upp i två segment:

- Leveranstrafik med högvärdigt gods tex. leveranser av dagligvaror, livsmedel, och konsumtionsvaror, här ingår även avfall.
- Godstrafik med lågvärdigt gods som sten, jord, berg, grus, ballast, betong etc.

Förhållandet är ungefär 40/60 procent mätt i ton\*km. För de 60 procenten som är lågvärdigt gods finns stora utmaningar för en fossilfri omställning, pga.

- låg lönsamhet,
- få eller bristfälliga miljökrav,
- lång avskrivningstid på fordon,
- hög medelålder på fordon,
- AFS 2010:1, 15 § (många fordon för lågvärdigt gods används av lönsamhetsskäl både ovan och under mark. Åkerinäringen vill tex. använda en biogas- eller etanollastbil både ovan och under jord för att möjliggöra en investering.),
- elektrifiering av mobila fordon för den här typen av tyngre arbete är ännu inte möjlig.

Till och från arbetstunnlar transporteras en stor mängd material såsom berg, sten, grus och ballast, hädanefter kallat för lågvärdigt gods i rapporten. En del av transportarbetet kan transporteras med tåg eller pråm, men det krävs ändå oftast en lastbilstransport i varje ände av tåg- eller pråm-setet. Syntetisk diesel (HVO100) eller Biodiesel B100 (FAME/RME) skulle kunna användas som drivmedel, men det kommer troligtvis inte finnas någon större mängd HVO100 att köpa till företagsekonomiskt rimligt pris pga. av konkurrens med låginblandning som en följd av lagen om reduktionsplikt. När det gäller Biodiesel B100 har den produkten en lägre hållbarhet och dessutom är inte alla lastbilar godkända för drift med Biodiesel B100.

Detta gör att det blir svårt att nå de politiska ambitionerna för ett fossilfritt samhälle utan att använda fordonsgas (dvs. biogas) eller dieseletanol (ED95) i arbeten under mark. För att nå målet om en fossiloberoende fordonsflotta måste AFS 2010:1 15 § bli förenlig med mål och ambitioner för fossilfria transporter, även under mark. I Tabell 1 jämförs dessa drivmedels klimatpåverkan utifrån Naturvårdsverkets<sup>1</sup> beräkningar. Ungefär 95% av svenskproducerad biogas 2016 var baserad på annat än grödor.

Tabell 1 Drivmedel som ingår i förstudien och deras klimatpåverkan<sup>1</sup>.

Drivmedel	CO <sub>2</sub> -ekvivalenter [g/kWh]
Diesel (med låginblandning av biodrivmedel)	285
Etanol (t.ex. ED95)	102
Biogas från grödor	97
Biogas övrig	46
FAME (t.ex. RME)	112
HVO	40

Generellt sett kan sägas att fordonsbränslen i de flesta fall innebär någon form av brand- eller explosionsrisk. Flytande bränslen, som diesel och etanol, samt gasformigt drivmedel så som metan kan läcka och antändas av, t.ex. heta ytor. Vid temperaturer över ämnets flampunkt kan explosiva blandningar med luft bildas vid läckage och bristande ventilation. En tryckkärlsexplosion kan ske för gaser förvarade under högt tryck, t.ex. komprimerad metan, ifall behållaren försvagas av en brand. Risker med fordonsbränslen skall dock inte överdrivas. Med tanke på den omfattning som fordon används så kan man konstatera att det sker förhållandevis få olyckor kopplat till bränslehantering (MSB, 2014, MSB, 2012). Samtidigt är brand ett ovanligt scenario i arbetstunnlar och det finns inga uppgifter på att de bränder som har inträffat i svenska arbetstunnlar lett till några större skador. Bidragande orsaker till detta är en mycket lång tradition av fordonsutveckling samt också ett omfattande regelverk både gällande arbetsmiljö, fordonskonstruktion och fordons användning.

<sup>1</sup> Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/bidrag-och-ersattning/bidrag/klimatklivet/berakna-utslappsminskning-vagledning-klimatklivet-2018-09-04.pdf>

I Tabell 2 summeras viktiga egenskaper ur brand- och risksynpunkt för diesel, etanol och metangas. Det som är utmärkande för diesel är den höga flampunkten. Detta gör att diesel vid normal arbetstemperatur inte bildar brännbara gasblandningar. Både metan och etanol ger brännbara gasblandningar vid normala omgivningstemperaturer. Dock har diesel en låg termisk tändpunkt som ökar risken för antändning mot heta ytor i varma motormiljöer. Utmärkande för metangasen är att den är lättare än luft, vilket generellt är positivt vid underjordsarbete eftersom gasen ofta kan leta sig ut ur systemet. För läckande etanol som i gasfas är tyngre än luft kommer etanolångor istället att ansamlas i låga punkter i arbetstunnlar.

Tabell 2 Egenskaper för metangas, etanol och diesel.

Ämne	Relativ densitet (luft=1) <sup>2</sup>	Flampunkt (°C)	Brännbarhetsområde (volym-%)	Termisk tändpunkt (°C)
METAN	0,6	-188	5 – 17 <sup>3</sup>	540
ETANOL	1,6	12	3 – 19	360
DIESEL	7	60	1 – 7	220

## Syfte

Rapporten syftar till:

- Att kartlägga studier och regler nationellt och internationellt med avseende på drivmedel och säkerhet vid arbete under mark.
- Att utföra en kvalitativ riskanalys som belyser skillnader mellan diesel och etanol och metan som drivmedel för lastbilar i arbetstunnlar.
- Att ge rekommendationer för hur alternativa drivmedel kan regleras för arbetstunnlar.

## Avgränsningar

Studien är avgränsad till lastbilar som används för bergmaterial i arbetstunnlar. Den primära anledningen till denna avgränsning är att det i dagsläget inte finns några arbetsmaskiner som går på etanol eller metan. Om det skulle komma sådana arbetsmaskiner i framtiden är arbetet till stor grad tillämpligt också på arbetsmaskiner, givet att bränslehantering sker ovan mark.

Arbete i gruvor ingår inte eftersom de generellt har bättre förutsättningar för elektrifiering och ofta hanteras bränsle under mark nere i gruvan (lagring och tankning) vilket inte är fallet för arbetstunnlar, dvs. tunnlar under byggnation.

Studien är avgränsad till följande drivmedel: diesel, etanol (ED95), flytande och komprimerad biogas (LBG/CBG).

<sup>2</sup> Avser ämnet i gasfas vid 20 °C

<sup>3</sup> 6 – 26 % för komprimerad biogas innehållande koldioxid.

## Rekommendation

De EU direktiv som är införlivade i AFS 2010:1 om berg- och gruvarbete gäller säkerhet och hälsa inom utvinningsindustrin, dvs inom gruvnäringen och inte för arbetstunnlar. Det finns också stora skillnader som ger olika förutsättningar för elektrifiering. Många gruvor är placerade utifrån en långsiktig utvinning i norra Sverige vilket gör att de har goda förutsättningar till eldrift. Tvärtom är arbetstunnlar tillfälliga arbetsplatser som typiskt inte har möjlighet att ta ut större mängder el från befintligt elnät. Därmed är förutsättningarna för att bli fossilfri väldigt olika. Detta gör att det finns goda skäl att behandla gruvor och arbetstunnlar olika. Samtidigt förändras samhället allt snabbare, detta gör att detaljreglering som förbjuder eller tillåter vissa drivmedel snabbt kan bli missvisande. Därför har man inom flera områden, t.ex. Boverkets brandskyddsregler (BBR26, 2018, BBRAD3, 2018), gått över till att föreskriva vilken funktion som ska uppnås. Syftet med § 15 i AFS 2010:1 måste vara att uppnå en god säkerhet och arbetsmiljö vid användandet av fordon och förbränningsmotorer. Samtidigt måste avsikten vara att även fordon utan förbränningsmotorer, t.ex. eldrivna fordon, är säkra och att risker kopplade till dessa, t.ex. giftiga/explosiva gaser vid termisk rusning hanteras. § 15 skulle därmed kunna tas bort (åtminstone för arbetstunnlar) och ersättas med ett funktionskrav (som ev. redan finns i andra paragrafer):

*Användningen av utrustning inklusive maskiner och fordon med eller utan förbränningsmotorer ska ske på ett för ändamålet och arbetsmiljön anpassat och säkert sätt. Den riskbild som nyttjade energikällor medför ska beaktas, speciellt ur ett brand- explosion- och luftkvalitets-perspektiv. En riskanalys ska utföras och riskreducerande åtgärder övervägas så att risken blir likvärdig eller lägre än för motsvarande dieselfordon.*

## Slutsatser

Denna rapport syftar till att utreda om etanol- och metangasfordon medför högre risker än dieselfordon och om dessa risker kan minskas eller helt undvikas. Rapporten avser att vara ett underlag för vidare beslut om hur arbeten i arbetstunnlar och under jord ska kunna bli fossilfria.

Brand i fordon är en relativt vanlig brandsorsak ovan likväl som under mark i gruvmiljö. Dock har bara tre bränder i arbetstunnlar, tunnlar under byggnation kunnat identifieras i Sverige sedan 1990-talet. Om metan eller etanol skulle användas istället för och jämfört med diesel som drivmedel i arbetstunnlar ger det en annan riskbild. Givet de utmaningar samhället står inför och utifrån de risker och teknologier som hanteras i dagens samhälle anses att det går att göra arbete i arbetstunnlar säkert också med metan eller etanol, med en anpassning till den nya riskbild.

Etanol (ED95) medför en förhöjd risk för ansamling av bränsleångor i låga punkter. Denna risk kan kontrolleras genom detektorer och läckagekontroll. Risken för ansamling av etanolångor minskar också med ökande ventilation.

Komprimerad biogas (CBG) ger en förhöjd risk för jetflamma och tryckkärlsexplosion vid brand. Risken kan kontrolleras genom inpassagekontroll som screenar bort fordon med förhöjd brandrisk.

Flytande biogas (LBG) har en mindre eller jämförbar risk med diesel för samtliga identifierade scenarier. Risken för övertrycksventilering nere i arbetstunneln kan hanteras genom mätning och/eller rutin för hur fordonet används.



Valet av drivmedel för lastbilar i arbetstunnlar är ett beslutsproblem där risken kopplat till olika drivmedel i ena vågskålen vägs mot respektive drivmedels fördelar, exempelvis klimat- och miljövinster i andra vågskålen. I den första vågskålen finns en liten men inte obetydlig risk som dock kan hanteras och kontrolleras. I den andra vågskålen finns risker såsom allvarliga hälsoproblem kopplat till luftkvalitet och den samlade klimatpåverkan från alla utsläpp av växthusgaser i form av förändrat klimat med påföljande kriser. Sett till alla svenska arbetstunnlar och brandsäkerhet pekar statistiken på att det handlar om någon olycka per 5-10 år. Under en sådan tidsperiod transporteras en oerhört stor mängd lågvärdigt gods till och från svenska arbetstunnlar. Som redan nämnts används lastbilar för lågvärdigt gods både ovan och under mark. Om exempelvis en femtedel av alla lastbilars drivmedelsförbrukning ersätter dagens genomsnittsdiesel med något som har en klimatpåverkan motsvarande biogas/ED95 till följd av förbättrade eller förenklade arbetsmiljöreguleringar, ger det 1,3 miljoner ton CO<sub>2</sub> per år i minskad klimatpåverkan. Detta visar att klimatnyttan av att lätta lite på Arbetsmiljöverkets regelverk har en hög potential. Det står klart att en liten arbetsmiljörisk vägs mot en potentiellt mycket stor klimatvinst. Användningen av metan och etanol under mark kan samtidigt bidra till att minska Sveriges sårbarhet och stärka den civila beredskapen. Det verkar därmed som att samhället tjänar mer på att transportera fossilfritt än vad som förloras i termer av minskad säkerhet.

## **RISE Research Institutes of Sweden AB Safety - Fire Research Dynamics**

Utfört av

Granskat av

Jonatan Gehandler

Michael Rahm

### **Bilaga 1: Kvalitativ riskanalys**

## Bilaga 1

**Innehållsförteckning – Bilaga 1 Kvalitativ riskanalys**

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>2</b>
1.1	Förkortningar och definitioner	2
1.2	Objekt och underlag	2
1.3	Bränslerestriktioner vid arbete under mark i andra länder	5
1.4	Arbete i underjordsmiljö	5
1.5	Olyckor i arbetstunnlar	6
1.6	Brand	7
1.7	Explosion	8
<b>2</b>	<b>Undersökningar och mätningar</b>	<b>10</b>
2.1	Diesel	11
2.2	Etanol	12
2.3	Metan	12
2.3.1	Fordonsrelaterade scenarier för komprimerad metan	14
2.3.2	Fordonsrelaterade scenarier för flytande metan	15
<b>3</b>	<b>Kvalitativ riskanalys</b>	<b>16</b>
3.1	Sannolikhet	16
3.2	Konsekvens	18
3.3	Scenarioanalys	19
	S1 Läckande drivmedel som inte antänds av fordonet	20
	S2 Läckande drivmedel som antänds i motorrummet	21
	S3 Brand i motor eller däck som påverkar bränsletank	22
	S3:1 Kvastbrand eller jetbrand	24
	S3:2 Pölbrand eller explosion	24
3.4	Riskvärdering	24
3.5	Riskreducerande åtgärder	25
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>26</b>
4.1	Rekommendation	28
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>28</b>
	<b>Referenser</b>	<b>29</b>



## Bilaga 1

## 1 Bakgrund

Detta är en kvalitativ riskanalys över risken med etanol- och metangasdrivna lastbilar i arbetstunnlar jämfört med diesel som drivmedel. Risker som ingår i uppdraget begränsas till scenarier där drivmedlet spelar en avgörande roll. I rapporten ingår också en kartläggning av studier och regler nationellt och internationellt med avseende på drivmedel och säkerhet vid arbete under mark. Rekommendationer ges för hur alternativa drivmedel kan regleras för arbetstunnlar.

### 1.1 Förkortningar och definitioner

Antändning mot heta ytor	Antändning genom ett ämnes kontakt mot heta ytor.
Bar	1 bar motsvarar ungefär det atmosfäriska trycket vid havsnivån. 1 bar=100 kPa.
BLEVE	Snabb förångning av gas i vätskeform som ger en snabb tryckökning (boiling liquid expanding vapour explosion)
Brännbarhetsområde	Området mellan den undre och övre gräns inom vilken gas-luftblandningen är brännbar/explosiv.
CBG	Komprimerad biogas (metan)
Flampunkt	Den lägsta temperatur en vätska behöver ha för att kunna ge upphov till en antändbar bränslekonzentration tillsammans med luft ovanför vätskeytan (°C).
Kryogas	Kylda kondenserade gaser. Förvaras i isolerade kryotankar för att minska avdunstningen.
LBG	Flytande biogas (metan) som förvaras som kryogas
Lågvärdigt gods	Godstrafik av material till och från arbetstunnlar såsom sten, jord, berg, grus, ballast, betong etc.
Relativ densitet	Bränsleångornas densitet i relation till luft (luft=1)
Stökiometrisk blandning	Den blandning mellan bränsle och luft där det finns precis tillräckligt mycket luft för att förbränna tillgängligt bränsle.
Smältsäkring	Säkerhetsventil på CBG-tankar som smälter och löser ut vid 110 °C (ska lösa vid brandexponering för att förhindra en tryckkärlsexplosion).
Termisk tändpunkt	Den temperatur som krävs för att en gas-luftblandning ska självantända (°C).
Tryckkärlsexplosion	Snabbt utsläpp av gas under högt tryck vid tankbrott.

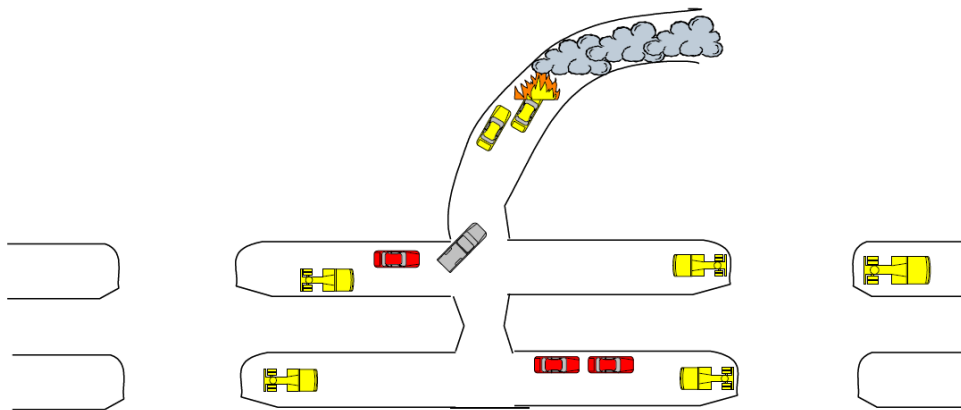
### 1.2 Objekt och underlag

En tunnel karakteriseras av att den är öppen i båda ändar. En tunnel har typiskt ett longitudinellt ventilationsflöde på grund av naturliga förhållanden och/eller mekanisk ventilation. En tunnel under byggnation karakteriseras av en ramp och en eller två arbetstunnlar som är stängda i ändarna (där man borrar/spränger), fram till genombrott sker, se Figur 1 och Figur 2.

## Bilaga 1



Figur 1 En modell av en tunnel under byggnation. Den lutande rampen används för att komma ner till två arbetstunnlar. Arbetstunnlarna är stängd i ändarna (stuppen) fram till dess genombrott sker. Foto: RISE.



Figur 2 Bild över en typisk arbetstunnel för dubbelrörsprojekt innan genombrott (Ingason et al., 2010).



## Bilaga 1

Figur 3 Norra länken under byggnation. Foto: RISE.

Ventilation krävs för att föra bort damm och rök från fronterna, dvs. ”stuffen”, där man arbetar i arbetstunneln. Via ventilationskanaler hämtas frisk luft in via rampen och fram till stuffen, se exempelvis Figur 3 och Figur 4. Ventilationsflödet varierar mellan arbetsplatser, men är enligt (Ingason et al., 2010) i storleksordningen 5–50 m<sup>3</sup>/min (i storleksordningen 0.01 m/s för ett tunneltvärsnitt om 50 m<sup>2</sup>). Notera att avsevärt högre flöden är vanliga i gruvor och tunnlar (3–4 m/s). En gemensam nämnare för bränder i gruvor och tunnlar är att det ofta är fordon som brinner (Hansen, 2015, Ingason et al., 2015).



Figur 4 En arbetstunnel med en tilluftskanal (Foto: RISE).

Det krävs oftast en icke-konventionell taktik och metodik för räddningsinsatser i undermarksanläggningar. Projektet ”Taktik och Metodik i Undermarksanläggningar (TMU)” har tagit fram rekommendationer vid insatser i olika typer av undermarksanläggningar, i första hand vägtunnlar, spårtunnlar, gruvor och underjordiska garage. Rekommendationerna bygger dels på utförda insatsförsök i en tunnel och dels på tidigare forskningsprojekt och erfarenheter från verkliga händelser (Lönnermark et al., 2015). En undermarksanläggning innebär en annan riskbild än en byggnad ovan mark. Med avseende på utrymningssituation är ofta gångavstånden längre, vilket innebär att människor kan behöva hjälp att utrymma. Insatsen är ofta utbredd på ett större geografiskt område. Det går heller inte att se förloppet och det innebär svårigheter med att få en lägesbild över olycksförloppet. Räddningstjänsten är dessutom inte lika bekant med geometrin i anläggningen vid jämförelse med lägenhetsbrand. Själva brandförloppet i en undermarksanläggning kan också antas skilja sig från en byggnad ovan mark. Det är oftast omfattande och snabb rökspridning och brandens storlek och strålningsvärme kan också påverka räddningstjänstens möjlighet att använda släckmedel. Det uppstår ofta ett behov av extra materiella resurser i form av andningsluft, extra slang, mobila fläktar etcetera.

För arbetstunnlar utan ett genomströmmande flöde är ventilationsmöjligheterna begränsade vilket ofta leder till låga luftflöden. Bränder blir då ofta ventilationskontrollerade, och kan till och med kvävas på grund av s.k. inertering när brandgaser återcirkuleras för bränder nära stuffen och branden därmed inte får tillräckligt med syre och självslocknar. Samtidigt kan brandgasernas stigningskraft i eller nära lutande ramper göra att frisk luft sugas in till branden och

## Bilaga 1

förhindrar detta. Gehandler och Ingason (2018) rekommenderar som grundregel att ventilationssystemet stängs av när en brand upptäcks. Detta kommer i de flesta fall minska brandens tillväxthastighet och begränsa rökens spridning i systemet. Denna strategi gynnar en första släckinsats och självutrymning i undermarksystemet för personer på olika platser i systemet. Denna strategi kan också leda till att branden själv dörr, om den är närmre stufven än rampen (Gehandler and Ingason, 2018).

### 1.3 Bränslerestriktioner vid arbete under mark i andra länder

I Sverige anger AFS 2010:1 att bensen, etanol och gas inte får användas som drivmedel vid arbete under mark. Andra länders motsvarande regler har sökts med följande resultat. Utifrån en norsk kontakt med Arbeidstilsynet framgår att de har ett förbud mot bensen- och gasdrivna motorer vid arbete under mark<sup>4</sup>. Bakgrunden till förbudet har att göra med risken för brand och förgiftning. I BC, Kanada, tillåts enligt WorkSafeBC<sup>5</sup> bara diesel som bränsle till förbränningsmotorer vid arbeten under mark. I NS, Kanada (N.S. Reg. 296/2008<sup>6</sup>) verkar diesel förutsättas som fordonsbränsle i gruvor. Propan eller andra ämnen som i gasfas är tyngre än luft är förbjudna som bränslen. Det betyder att etanol inte tillåts, men metan eftersom den är lättare än luft. Enligt uppgift från Arbetsmiljöverket refererade ursprungligen termen 'gas' i AFS 2010:1 § 15 till gasol, dvs. propan. I Yukon<sup>7</sup>, Kanada är bensen, propan och andra flyktiga bränslen förbjudna (dvs. även metangas och etanol) vid arbete under mark. I NSW, Australien är bara diesel tillåtet som bränsle under mark<sup>8</sup>. I USA<sup>9</sup> Tillåts enbart diesel som bränsle för förbränningsmotorer i arbetstunnlar.

Det verkar vara mer regel än undantag att enbart tillåta diesel eller liknande bränslen med en hög flampunkt vid underjordsarbete. Ur ett historiskt regelperspektiv verkar det dock finnas viss öppning för att tillåta metangas snarare än etanol under mark eftersom metan till skillnad från etanolångor inte kan ansamlas i låga punkter i systemet.

Både i Sverige och till exempel USA/Kanada kan man ansöka om att göra avsteg från ovan nämnda regler. En dispens kan sökas från Arbetsmiljöverket eller i USA/Kanada från ansvarig lokal myndighet med behörighet för brandskydd. Ett eventuellt bifall grundas på att lämpliga åtgärder tagits för att minimera den extra risken jämfört med att använda diesel och att den resulterande risken inte blir större än med diesel. Enligt uppgift från Arbetsmiljöverket skulle dispens för en arbetstunnel kunna vara giltig ett år innan en ny dispensansökan behöver göras.

Huruvida reglerna är skäligen eller inte givet nya förutsättningar utifrån klimatförändringar och mål om fossiloberoende är dock en större fråga än nuvarande historiska säkerhetskoncept. En fråga som skulle behöva debatteras och diskuteras, inte enbart utifrån säkerhet och risk utan också utifrån andra fördelar och nackdelar med olika drivmedel. Är förbudet skäligen eller proportionellt mot dagens förutsättningar utifrån de risker som finns och de nödvändiga omställningar som krävs?

### 1.4 Arbete i underjordsmiljö

<sup>4</sup> FUA, Norge, § 27-17: <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/forskrift-om-utforelse-av-arbeid/4/27/27-17/> [Nedladdad 2019-02-13]

<sup>5</sup> WorkSafeBC, Kanada, <https://www.worksafebc.com/en/law-policy/occupational-health-safety/searchable-ohs-regulation/ohs-guidelines/guidelines-part-22> [Nedladdad 2018-11-15]

<sup>6</sup> OHS, NS, Kanada, <https://www.novascotia.ca/just/regulations/regs/ohsmine.htm> [Nedladdad 2018-11-15]

<sup>7</sup> Yukon OHS, Kanada, <https://yukonregs.ca/RegsPublic/Home/Details/3925> [Nedladdad 2018-11-15]

<sup>8</sup> WorkCover NSW, Australien,

[http://www.safework.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0007/52873/Tunnels-Under-Construction-Code-of-Practice.pdf](http://www.safework.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0007/52873/Tunnels-Under-Construction-Code-of-Practice.pdf) [Nedladdad 2018-11-15]

<sup>9</sup> OSHA, USA, <https://www.osha.gov/Publications/osh3115.html> [Nedladdad 2018-11-15]

## Bilaga 1

Det finns två EU-direktiv som är införlivade i Arbetsmiljöverkets föreskrifter om berg- och gruvarbete. Direktiv 92/104/EEG om säkerhet och hälsa inom utvinningsindustrin för ovan och underjordsarbete gäller främst gruvverksamhet och ställer bland annat krav på att arbetsgivaren vidtar de åtgärder och försiktighetsmått som är nödvändiga med hänsyn till arbetets art för att:

- undvika, upptäcka och bekämpa utbrott och spridning av brand och explosioner,
- förhindra att explosiva och/eller hälsofarliga ämnen förekommer i omgivande atmosfär.

Vidare ställs krav på utrustning i områden där brand- eller explosionsrisk genom antändning av gas, ånga eller flyktig vätska föreligger, eller kan föreligga, måste utrustningen vara anpassad för ett sådant område. Åtgärder måste vidtas för att undersöka förekomsten av skadliga och/eller explosionsfarliga ämnen i omgivande luft och för att mäta koncentrationen av sådana ämnen.

Direktiv 92/91/EEG om säkerhet och hälsa inom utvinningsindustrin vid borring gäller också främst för gruvverksamhet.

Vid borring eller sprängning kan gaser, t.ex. metan, eller damm frigöras som medför en hälso- eller brand- och explosionsrisk. Inom gruvbranschen finns en lång tradition av att arbeta under dessa förhållanden. Enligt en standard från ILO (1974) för kolgruvor kan risken för explosion hanteras genom:

- Mätning och inspektion av arbetsmiljö inklusive luftkvalité.
- Utspädning och bortförel av gaser och damm med hjälp av ventilationssystem.
- Minimering av explosiv damm- eller gasatmosfär genom styrning av inträngningshastigheten, eller med andra medel.
- Restriktioner och kontroll för att minimera sannolikheten för antändning, t.ex. tillstånd för heta arbeten och explosionsklassad utrustning.

Även om mätsensorer och ventilationskontrollsystem givetvis har utvecklats baseras mer nutida rekommendationer för explosionsskydd på tidigare principer (Brune et al., 2008). Enligt branschorganisationen för svensk gruvnäring, Svemin, har svensk berggrund inte så stor mängd metangas, eller metangasfickor liknande de som kan finnas i kolgruvor, vilket minskar sannolikheten för explosion från naturligt förekommande metan<sup>10</sup>. Till listan ovan kan möjligheten till en säker utrymning läggas till, vilket omfattar<sup>11</sup>:

- En plan för utrymning och undsättning av nödställd.
- Utrustning såsom flyktmasker, brandsläckare.
- Nödbelysning
- Tillgång till en räddningskammare om utrymningsvägen är lång.
- Elektroniska passagesystem med särskilda positioneringssystem så att arbetare kan lokaliseras.

## 1.5 Olyckor i arbetstunnlar

Ett antal olyckor, främst bränder, har skett i arbetstunnlar. Kända fall från litteratur eller MSB är summerade i Tabell 3. Orsakerna för bränder under mark (inklusive gruvor) är oftast elfel eller bränsle som kommer i kontakt med heta ytor (Hansen, 2015, Hansen, 2011).

<sup>10</sup> SVEMIN, 2015, <https://www.svemin.se/aktuellt/nyhet/explosionen-i-kolgruvan-i-ukraina-kan-det-handa-i-sverige/> [Nedladdad 2018-11-30]

<sup>11</sup> Arbetsmiljöverket, 2018, <https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/bygg/risker-vid-byggnad--och-anlaggningsarbeten/arbetsmiljoplan-och-dess-risker/arbete-under-jord--tunnlar-brunnar-rot/> [Nedladdad 2018-11-30]

## Bilaga 1

Konsekvenser är vanligtvis begränsade till materiella skador och projektförseningar (Ingason et al., 2010). I MSB:s insatsrapportering kunde bara en incident hittas under perioden 2008–2017. Alla kända brandincidenter för arbetstunnlar återfinns i Tabell 3.

Tabell 3 Bränder i arbetstunnlar.

Datum/Ref	Arbetstunnel	Branden	Konsekvens
1994-06-11 (Ingason et al., 2010)	Tågtunnel under Stora Bält, Danmark	Branden utbröt i 2000 l hydraulolja till en tunnelbormaskin	Svårsläckt brand. Tog 11 timmar att släcka. Arbetare utrymde via en parallell tunnel.
2000-07-05 (Ingason et al., 2010)	Zürich-Thalwil tunneln, Schweiz	En brand startade i en elektrisk containerkraftstation	-
2002-03-05 (Ingason et al., 2010)	A86 ringtunnel, Paris, Frankrike	Branden startade på kvällen i ett godståg. Det huvudsakliga bränslet var tågbränsle.	Stora mängder svart rök. 19 arbetare väntade i räddningskammaren. Branden släcktes först tidigt på morgonen.
2003-08-06 (Beard and Carvel, 2012)	Guadarrama järnvägstunnel, Spanien	Brand på ett tåg med kraftig rökutveckling.	Tågarbetare kunde utrymma men 34 arbetare sökte skydd i en luftficka tills de räddades efter 5 timmar.
2004-01-22 (Ingason et al., 2010)	Södra länken, Stockholm	En brand utbröt i tunnellerisoleringsringen.	Branden spred sig 400 meter i isolermaterialet.
2005-08-16 <sup>12</sup>	Channeltunneln, UK	En exploderande växellåda på ett underhållståg.	Två arbetare avled av explosionen och brännskador.
2006-03-24 (Ingason et al., 2010)	Björnböle tunneln på Botniabanan	En mindre explosion på en borrhög startade en kraftig brand.	Alla (två) arbetare hann precis utrymma 400 meter innan rökfronten nådde dem.
2013-08-22 MSB:s insatsdata	Norra Länken, Roslagstunneln	Rökutveckling från en saxlift (ev. överhettad).	Personal utrymmer. Branden självslocknar. Skador begränsade till brandobjektet.

## 1.6 Brand

Brandförlopp i allmänhet kontrolleras i huvudsak av två faktorer; mängden bränsle och tillgången på syre. De flesta brandtester och uppskattningar av fordons brandförlopp har gjorts i det fria. Jämfört med bränder i det fria kan tunnelbränder vid god ventilation ge ett snabbare brandförlopp med en högre maximal brandeffekt, men vid begränsad ventilation, till exempel i närheten av stoffen, kan motsatt effekt väntas.

Personfordon finns i gruvor likaväl som i arbetstunnlar. Äldre personbilar innehåller en ungefärlig energimängd om 6 GJ. Moderna fordon innehåller mycket plast och elektronik, vilket har ökat energimängden till 9 GJ (Ingason et al., 2015). Brandförloppet kan skilja sig mycket beroende på var branden startar och hur mycket bränsle och syre som initialt finns tillgängligt för branden. En fordonsbrand varar typiskt under en timma. Maximal effekt på 5–10 MW uppnås ofta inom 10–30 min.

En utmärkande egenskap för tyngre fordon i gruvor och arbetstunnlar är att en stor mängd av

<sup>12</sup> BBC, 2011, <https://www.bbc.com/news/uk-england-12770828> [Nedladdad 2018-11-14]

## Bilaga 1

den totala energimängden finns i däck. En hjullastare kan till exempel ha 42 GJ energi lagrade i däck, vilket är mer än hälften av fordonets totala energi. Däcksbränder karakteriseras av att de tar väldigt lång tid att utvecklas. I experiment utförda i brandhallen hos RISE med ett hjullastardäck tog det 90 min innan maxeffekten 3 MW uppmättes. Branden släcktes efter 150 min. Ett brandexperiment med en borrhög uppmätte en maxeffekt om närapå 30 MW efter 21 min (Hansen, 2015).

För den typen av lastbilar som avses i den här studien är det främst bränsle, däck och kupé/motorrum som bidrar till en brand. Försök har utförts på RISE med en lastbilshytt där en brandeffekt i storleksordningen 5 MW uppmättes. Motorrummet kan väntas bidra med ca 4 MW. Två par lastbilsdäck ger, utifrån brandförsök utförda av SINTEF NBL, knappt 1 MW brandeffekt tillsammans (Hansen, 1995). För diesel kan en kvastliknande brand förutsättas i tanköppningen vilket ger en brandeffekt om ca 1 MW per tank. Sammantaget kan en trolig fullt utvecklad lastbilsbrand väntas komma upp i storleksordningen 10–15 MW.

Antändning av drivmedel eller olja kan ske inom ämnets brännbarhetsområde med ökande temperatur genom:

- Extern energi (en gnista eller låga) som antänder en brännbar luft-bränsleblandning över bränslets flampunkt,
- självantändning av luft-bränsleblandning om blandningen uppnår den termiska tändpunkten (mycket högre än flampunkten),
- Antändning mot en het yta som sker när ett utsläpp av brännbar vätska eller gas kommer i kontakt med en het yta som antänder utsläppet. Detta är en komplex process påverkad av en stor mängd faktorer såsom ytans temperatur, geometri och omgivningens temperatur och flöde. Det är därmed svårt att ge någon exakt gräns för när antändning mot heta ytor sker. Antändning mot heta ytor är situationsberoende, men ligger långt över den termiska tändpunkten.

## 1.7 Explosion

För brandfarliga vätskor och gaser kan, beroende på ämnets egenskaper, dess förvaring och hantering, explosioner inträffa. NFPA definierar en explosion som ett snabbt utsläpp av gas under högt tryck (Cruice, 1991). Ett nyckelord är "snabbt" som medföljer en tryckvåg. Ett exempel på en sådan explosion relevant för denna studie är ett tankbrott, det vill säga en tryckkärlsexplosion. En annan är kemisk reaktion (t.ex. förbränning) som medför snabb tryckökning (Bjerketvedt et al., 1997). Ett exempel på en sådan explosion är en antändning av brännbar gas-luftblandning. En explosion kan alltså vara antingen fysikalisk, t.ex. en gastank som brister på grund av för högt tryck, eller kemisk (exotermisk reaktion), t.ex. som följd av antändning (Cruice, 1991). Tryck utjämnas med ljudets hastighet. Den initiala tryckamplituden i en tryckvåg från en tryckkärlsexplosion beror på gasens tryck vid utsläppet. Energin i tryckvågen beror på mängden gas, tryck och temperatur och en uppskattning av energin fås genom att multiplicera trycket med volymen. Trycket från en tryckkärlsexplosion av en CBG tank är livsfarlig inom 10-talet meter från tanken och farliga projektiler kan skjutas iväg upp till 100 meter. Om ett utströmmande gasmoln efter en tryckkärlsexplosion antänds ökar energin och längden av stöten förlängs men tryckamplituden påverkas inte (Baker et al., 1982). Reaktionen startar vid antändningskällan och rör sig i brännbar blandning framåt med en flamfront. Brandgaserna med sin höga temperatur vill ta mycket mer plats vilket bidrar till tryckvågen. Angränsande luft och förbränningsprodukter expanderar av temperaturökningen från förbränningsreaktionen.

Gasansamling i slutna utrymmen påverkas främst av utsläppshastighet och eventuell ventilation. Lättare gaser, till exempel metan, kan ansamlas under tak. Tyngre gaser, till exempel ångor från etanol ansamlas i låga punkter. Utsläpp av en lättare gas såsom metan i ett inneslutet utrymme leder till att gasen stiger och följer med luftflödet ut via rampen alternativt

## Bilaga 1

ansamlas i fickor under taket. Tjockleken av gas-luftblandningen beror på förhållandet mellan destabiliserande rörelsemängd när den lätta gasen stiger och den stabiliserande termiska kraften från en ökad gaskoncentration i gas-luftblandningen med höjden. Över ett kritiskt värde bildas ett välblandat lager med en konstant tjocklek. Under det kritiska värdet bildas ett stratifierat gaslager under taket som växer i tjocklek med avståndet från källan så länge som utsläppet pågår. När utsläppet slutar kommer det stratifierade lagret att lösas upp på grund av molekylär diffusion. Efter en mycket längre stund än utsläppet varade kommer en homogen gas-luftblandning uppstå i det slutna utrymmet. Vid så pass hög utsläppshastighet att det dominerar över termikkraften kommer en blandning med luft att ske genom att luft sugas in i utsläppsplymen, vilket snabbt kan leda till en homogen luft-gasblandning (HySafe, 2009).

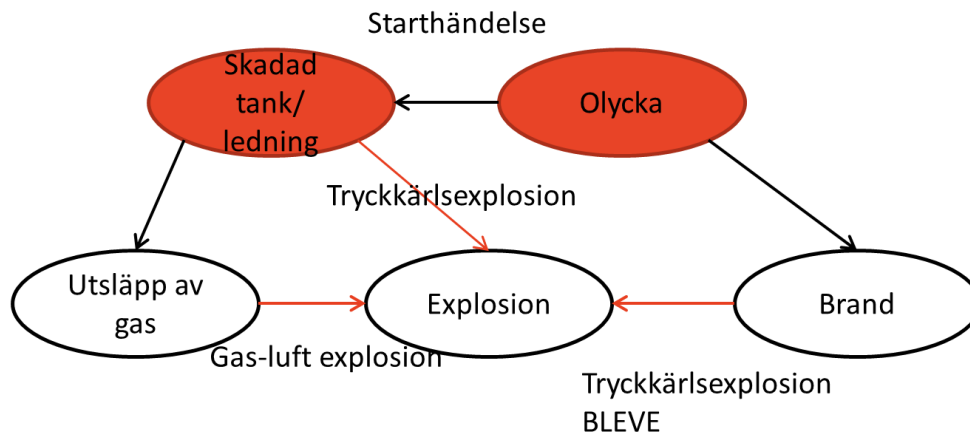
Antändningen av en kolväte-luftblandning i det fria leder till försumbara explosionstryck. För att nå högre tryck krävs hinder i vägen som leder till turbulenta flöden som snabbar på reaktionen. Detta betyder att explosioner under mark når högre tryck än om de skulle ha skett ute i det fria. I en sluten behållare kommer även en långsam reaktion att ge en tryckökning eftersom gasen inte kan expandera någonstans. En stökiometrisk bränsle-luftblandning inuti en omslutning kommer att nå ungefär 8 bars övertryck. Trycket minskar generellt ju mindre del av utrymmet som är fyllt, även om en fyllnadsgrad ner till 30–50 % kan ge samma tryckökning eftersom bränsle/luft trycks ut ur utrymmet och inte bidrar till explosionen inuti utrymmet. Om 15 % av ett slutet utrymme är fyllt med en stökiometrisk bränsle-luft blandning blir övertrycket ca 2 bar (Bjerketvedt et al., 1997). Enligt (Bjerketvedt et al., 1997) är dödsfall direkt orsakade av tryckökningen från explosioner ovanliga. Dödsorsaker till följd av explosion, till exempel brand eller raserade byggnader är desto vanligare. En explosion i ett slutet rum kan väntas ge ett tryck, så kallat kammарtryck, beroende på rummets volym enligt (FortH2, 1991). Ju större volym desto mindre tryck för samma laddning. Kammatrycket kan förväntas bli lågt i arbetstunnlar, även om trycket lokalt kan bli mycket högre. Trycket i en tunnel påverkas initialt av reflektioner från väggarna men utbreder sig primärt längs tunneln med ett tryck liknande ovanstående resonemang (FortH2, 1991). För en tunnel öppen i bägge ändar med längden 100 m, tvärsnittsarea 50 m<sup>2</sup> och en tryckkärlexplosion av en 130 L CBG-tank vid ett tryck på 200 bar ger ett tryck på ca 0.1 bar, vilket inte ger några större konsekvenser för tunnel, fordon eller människor.

För gas som är i vätskefas vid en tryckkärlexplosion kan en BLEVE (boiling liquid expanding vapor explosion) ske när den vätskeformiga gasen snabbt förångas av den varmare omgivningen. För att en BLEVE ska kunna ske behöver vätskan vara uppvärmd över en viss kritisk temperatur. För LBG ligger normal förvaringstemperatur på -162 °C och vätskan behöver värmas upp till minst -93 °C för att en BLEVE ska ske när behållaren brister. Driftssystem för LBG fordon kan ha temperaturer uppemot -130 °C på vätskan under drift. En LBG-BLEVE kan därmed enbart väntas för brandutsatta tankar. Men eftersom LBG-tanken är isolerad skulle en mycket lång och kraftig brand krävas eller att tanken först skadas i en krock. En LBG-BLEVE är därmed ett mycket osannolikt scenario som än så länge aldrig har inträffat i Sverige. Samtidigt är antalet LBG-fordon och därmed statistikunderlaget än så länge begränsat. En BLEVE kan innebära livsfara, inte bara i fordonets närhet utan även resultera i att delar av tanken kastas mycket långt. Vid antändning av gasen uppstår hög värmestrålning som kan utsätta personer på relativt stort avstånd för mycket hög värmeexponering och leda till antändning av angränsande objekt.

I Figur 5 finns de tre olika explosionerna markerade i ett händelseträd utifrån olika händelseutvecklingar.



## Bilaga 1



Figur 5 Enkelt händelsetråd över de tre olika explosionerna (tryckkärlsexplosion, gas-luft och BLEVE) för CBG eller LBG fordon.

## 2 Undersökningar och mätningar

För att driva en lastbil krävs någon form av energi. Energimängden för diesel, etanol och biogas återges i Tabell 4. Enligt Arbetsmiljöverkets regler ska mängden brännbart bränsle begränsas. Ofta anpassas mängden drivmedel till en viss aktionsradie för fordonet, men beroende på bränsle och förvaring kan mängden bränsle också begränsas av utrymmesskäl. Komprimerad gas kräver t.ex. mycket plats varför en mindre mängd kan förutsättas än för motsvarande fordon med bränsle i flytande form. Det kan också förutsättas att etanol och metan finns i liknande eller mindre energimängd jämfört med diesel, på grund av den höga energimängden per liter för diesel (nästan dubbelt så mycket energi per liter).

Tabell 4 Energi per mängd bränsle (ADR-S, 2015).

Bränsle	Energiinnehåll
Diesel	36 MJ/liter
Etanol	21 MJ/liter
Biogas (CNG)	35 MJ/Nm <sup>3</sup>
Biogas (LNG)	21 <sup>13</sup> MJ/liter

Lastbilmotorer har ett system för efterbehandling av avgaserna för att uppnå fastställd miljöprestanda. Detta innebär i de flesta fall att man når tämligen höga temperaturer lokalt. Katalysatorer t.ex. kräver hög värme för att fungera på bästa sätt. Detta gäller inte minst moderna dieselmotorer med höga utsläppskrav (nu Euro VI). Etanol och metan ger en renare förbränningsprocess och därmed en enklare avgasrening. I Figur 6 visas en typisk lastbil för lågvärdigt gods lämpad för transport till och från arbetstunnlar.

<sup>13</sup> Energimängden varierar beroende på produkt [https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied\\_natural\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_natural_gas) [Nedladdad 2019-02-15]

## Bilaga 1



Figur 6 Lastbil lämpad för transport av lågvärdigt gods till och från en arbetstunnel.

## 2.1 Diesel

En modern dieselmotor använder sig av bränsleinsprutning vilket gör att bränsle-luftblandningen självantänder. Dieselmotorn har alltså inga tändstift. Insprutningstrycket är mycket högt, hundratals till några tusen bar. Kopplingar och ledningar på diesellastbilar är dimensionerade för att hantera detta tryck. Diesel är ett svårflyktigt bränsle som normalt har en flampunkt på ca 60 °C. Detta innebär att vid normala temperaturer kan ett öppet bränslespill inte antändas med en liten tändkälla. Det är först om bränslet i en drivmedelstank blir uppvärmt som det kan bildas så mycket bränsleångor att man når flampunkten och i en sluten tank hamnar inom brännbarhetsområdet. På moderna dieselfordon finns bränslepumpar som pumpar fram bränslet till motorn och där en stor andel av bränslet går i retur till tanken. Denna recirkulation medför att bränsletemperaturen i tanken stiger, men enligt tillverkare ligger temperaturen i tanken på under 40 °C, alltså under flampunkten 60 °C. På grund av den höga flampunkten är brandspridningen över en bränsleyta betydligt långsammare än för t.ex. etanol men när branden har utvecklats fullt ut brinner diesel ungefär som etanol men med kraftigare sotbildning och därmed också något lägre värmestrålning.

Diesel klassas med en tvåa på amerikanska National Fire Protection Association (NFPA):s skala över brandfarlighet mellan noll och fyra<sup>14</sup>. Diesel utgör på grund av sin relativt höga flampunkt en relativt låg brandrisk vid tankning och normal hantering och ett spill utgör normalt sett ingen större brandrisk. Däremot kan ett läckage inne i motorrummet, till exempel p.g.a. högt tryck, slitage, bristande underhåll eller kollision skapa stor risk för brand. Det finns ingen stoppventil som hindrar ett eventuellt läckage. I en modern dieselmotor finns många heta ytor där dieseln kan antändas. Branden i motorutrymmet kan naturligtvis sprida sig och i vissa situationer också exponera bränsletanken.

En typisk dieseltank för avsedd lastbil har en volym på 400–600 l placerad på ena sidan av ramen. Lastbilstankar för diesel är tillverkade av aluminium eller stålplåt. Detta minskar risken för ett snabbt läckage vid en brandexponering men kan å andra sidan leda till en tankexplosion. Vid en brand kommer dieselbränslet att värmas upp och när vätskan (vätskeytan) uppnår

<sup>14</sup> NFPA 704 Diamond <http://entirelysafe.com/nfpa-704-chemical-marking-fire-diamond/#.XEWpJeSWwaU> [Nedladdad 2019-01-21]

## Bilaga 1

flampunktstemperatur bildas en brännbar blandning inne i tanken. Om tankväggen är hetare än dieseln termiska tändpunkt eller om flammor kommer i kontakt med bränsleblandningen kan detta leda till en mindre tankexplosion där tanken deformeras eller rämnar. Som nämnts tidigare har moderna dieselfordon bränslecirkulation vilket kan innebära att bränsletemperaturen redan ligger nära flampunkten och då skulle förloppet fram till en mindre explosion kunna vara relativt snabbt.

## 2.2 Etanol

Etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) klassas på NFPA:s skala med en trea (inom den näst mest brandfarliga kategorin). I ren form uppgår flampunkten till  $12\text{ }^\circ\text{C}$  medan en temperatur på  $40\text{ }^\circ\text{C}$  frigör så mycket förångad gas att blandningen inte kan antändas i ett slutet kärl. Detta innebär förenklat att ett kärl med ren etanol innehåller en brännbar gasblandning mellan  $12$  och  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , d.v.s. vid temperaturer som är vanligt förekommande under stora delar av året. Risken för kärlsprängning är således uppenbar om en drivmedelstank exponeras för en kraftig brand. Ledningsförmågan hos etanol är betydligt högre (ca  $134\ 500\ \text{pS/m}$ ) än för bensin ( $>50\ \text{pS/m}$ ) vilket gör att risken för antändning p.g.a. av statisk elektricitet är avsevärt mindre. Även antändningsenergin är något högre än för bensin.

Ren etanol brinner med en i princip klart lysande gul låga med mycket liten sotbildning. I liten skala är värmestrålningen betydligt lägre jämfört med bensin men vid större bränsleytor, några hundra  $\text{m}^2$  och uppåt, kan värmestrålningen vara 2–3 gånger högre än från en motsvarande bensinbrand (Sjöström et al., 2015). Den primära orsaken är att sotbildningen är mycket begränsad även vid stora bränder vilket gör att flammen inte blockeras av rök som vid bensin och diesel. Eftersom etanol är ett vattenblandbart ämne stiger flampunkten med ökad vatteninblandning. Har väl antändning skett kan dock etanol brinna även vid relativt höga vattenhalter. När etanol brinner är brandeffekten och värmestrålningen betydligt lägre än för diesel vid små brandytor men vid stora brandytor ger etanol 2–3 gånger högre värmestrålning än diesel.

Etanol som används för dieseldrivna fordon betecknas normalt ”dieseletanol” med beteckningen ED95. Etanolen till ED95 är vattenhaltig enligt den svenska standarden, så mängden ren etanol i ED95 är 90–95 %. Resterade 5–10 % utgörs av tändförbättrande och smörjförbättrande tillsatser så att det ska fungera i en dieselmotor. Dessa tillsatser skiljer sig mellan olika ED95 produkter. Bland tillsatserna kan Etylterbutyleter (ETBE,  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$ ) nämnas (kan ingå i ED95 med ca 5 %) med en flampunkt på  $-19\text{ }^\circ\text{C}$  och smörjmedel (kan ingå i ED95 med ca 2 %) med en hög akuttoxicitet. Detta betyder att specifikationerna för ED 95 kan skilja sig jämfört med etanol, t.ex. kan en lägre flampunkt än den som angivs för etanol,  $12\text{ }^\circ\text{C}$ , förekomma.

Några specifika brandtekniska data för ED95 finns ej men eftersom etanolhalten är 90–95 %, med vatten 5–10% (sänker brandrisken) och 5–10 % tillsatser (höjer ev. brandrisken) kan man förutsätta att egenskaperna är i princip likvärdiga med ren etanol. En dieselmotor för etanol fungerar enligt samma principer som beskrivits ovan. Riskbilden jämfört med ett dieselfordon blir dock något annorlunda då risken för antändning av ett spill är högre än för diesel. Risken för explosion i bränsletanken är också högre då tanken med stor sannolikhet innehåller en brännbar bränsleblandning. Antändning mot heta ytor kan dock förutsättas vara något lägre för ED95 jämfört med diesel på grund av etanols högre termiska tändpunkt.

## 2.3 Metan

Metan, ( $\text{CH}_4$ ) är en lukt- och färglös brandfarlig gas som klassas med en fyra på NFPA:s skala från noll till fyra. Brandrisken ska dock inte överdrivas, vid mindre utsläpp från t.ex. bränsleledningar skapas t.ex. mindre brännbara gasmoln i tunnlar är för motsvarande utsläpp av vanlig bensin (Zalosh et al., 1994). Gasen är lättare än luft vilket gör att gas kan ansamlas under tak. Komprimerad biogas (CBG) innehåller en mindre andel koldioxid,

## Bilaga 1

drivmedelsnormen medger cirka 2–4%. Eftersom koldioxid har 2,5 gånger högre densitet än metan blir det ändå ganska mycket, vilket gör att komprimerad biogas avviker en del från ren metan. Angående förvätskad biogas (LBG) renar man bort i princip all koldioxid vilket gör att man får i princip ren metan.

Gasformiga drivmedel kan hanteras på olika sätt. Lagring och hantering av biogas sker både i form av komprimerad gas (CBG) och som kryogas (LBG). För lastbilar är gastankarna placerade där nuvarande dieseltankar finns, alltså på chassiets båda sidor. För CBG är lagring en begränsning. Upp till 4 tankar kan finnas på båda sidor, alltså totalt 8 tankar. En tank för CBG är då i storleksordningen 100 l. För LBG är inte lagringsutrymme en begränsning. En liknande tankkapacitet som för dieselsystemet ovan fördelat på en eller två tankar kan förutsättas med en total mängd om 400–600 l LBG. Gastankar (CBG och LBG) ska enligt internationella regler ha en magnetventil som är stängd om inte tändningen är påslagen. Detta gör att läckage för parkerade och avstängda fordon i princip kan uteslutas, bortsett från övertrycksventilering (s.k. ”boil-off”) från LBG-tankar, se nedan.

Motorn är i princip inte beroende av lagringen (CBG eller LBG), det är metan i gasfas som används i motorn. Den vanligaste motorn för metangas är en ottomotor med tändstift. Ett annat alternativ är att använda samma motorprincip som för diesel ovan med självantändning. Detta kan uppnås genom att en mindre mängd diesel, eller en mer miljövänlig dieselform, injekteras tillsammans med biogasen. Anledningen till denna lösning är att man får en bättre termisk verkningsgrad. Notera att det i detta fall finns en tank för LBG och en tank för diesel. I de jämförande riskanalyserna nedan kommer CBG, LBG eller ED95 förutsättas användas som separata drivmedel, dvs. antingen enbart CBG, eller LBG, eller ED95.

Komprimerad biogas hanteras i tryckkärl under högt tryck, ca 200 bar. Användning av metan för fordonsbruk styrs av standard UNECE R.110 (UNECE, 2014) vilket även omfattar ett brandprov. CBG-system har en lågtryckssida efter tryckregulatorn som sänker trycket till 10 bar (tvärtom jämfört med diesel/ED95 motorer där tanktrycket är avsevärt lägre men trycket nära motorn är avsevärt högre). LBG-tankar har ett arbetstryck på 8–15 bar. CBG tankar kan vara av fyra olika materialtyper:

1. Metall.
2. Behållare av metall inlindad med komposit längs flaskan, men inte över botten och hals.
3. Behållare av metall helt inlindad i komposit.
4. Plastbehållare helt inlindad i komposit.

LBG är flytande biogas (kryogas) som kylts ner till  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$  (under kokpunkten) och på detta sätt kan förvaras i kondenserad form i tanken. Energitätheten för LBG ökar ungefär med en faktor 3 jämfört med CBG vid 200 bars tryck, vilket är en stor fördel då det ökar fordonets aktionsradie. Även en kryotank avsedd för användning på fordon skall uppfylla UNECE R.110 vilket då alltså omfattar ett brandprov. Tanken är mycket välisolerad (ungefär som en termosflaska) för att minimera värmeläckage in i kärlet. Det lilla värmefflöde som trots all läcker in i kärlet medför att en liten del av gasen ständigt förångas vilket ökar trycket inne i kärlet och om ingen gas förbrukas innebär det att en del gas behöver ventileras ut genom en säkerhetsventil för att inte nå för högt tryck. Öppningstrycket för säkerhetsventilen anpassas till tryckkärlens dimensionering men ligger ofta på runt 15 bar. Detta gör att övertrycksventilering sker om fordonet stått still en viss tid beroende på tankens fyllnadsgrad och initialt tanktryck alternativt temperatur. Utifrån tankens fyllnadsgrad och endera tanktryck eller temperatur kan hålltiden med avstängd motor beräknas. Därmed finns en möjlighet att hålla koll på hålltiden vid inpassage till en arbetstunnel. Vid normal drift ska enligt uppgift från fordonstillverkar övertrycksventilering dock inte ske. Inom ramen för den här utredningen förutsätts att hålltiden vid inpassage är tillräcklig för att undvika utventilering inne i tunneln. I nästföljande två stycken redovisas fordonsrelaterade scenarier beroende på typ av lagring

## Bilaga 1

(komprimerad eller kyld).

### 2.3.1 Fordonsrelaterade scenarier för komprimerad metan

Ett relevant scenario för CBG fordon är om fordonet tagit eld och branden sprider sig så att även tankarna exponeras. Ett liknande fall kan vara vid en kollision där det andra fordonet läcker bränsle som antänds och rinner in under gastanken. I båda dessa fall kommer tanken och dess innehåll att värmas upp vilket leder till en tryckstegring inne i tanken. Alla CBG tankar ska ha en smältsäkring som ska öppna vid hög temperatur, tanken kan också vara utrustad med en säkerhetsventil som öppnar vid förhöjt tryck. Detta kommer i sig att resultera i en häftigt utströmmande gas som på grund av omgivande brand kommer att antändas och ge en mycket kraftig jetbrand, eftersom gasen förvaras under högt tryck (upp till 200 bar); upp till 10 m flamma med en brandeffekt på upp till 10 MW. Säkerhetsventilen ska enligt UNECE R.110 vara riktad för att inte ge ytterligare brandpåverkan på tanken men kan naturligtvis i vissa fall, direkt eller indirekt, exponera övriga delar av fordonet eller angränsande fordon. Eftersom mängden gas är relativt begränsad när den lagras i komprimerad form kommer tanken att tömmas på gas relativt snabbt vilket också leder till sjunkande tryck. Om brandpåverkan på tanken är kraftig kommer materialet i tanken att hettas upp och därmed tappa en stor del av sin hållfasthet och om inte tryckavlastningsventilens kapacitet är tillräcklig i förhållande till mängden gas i tanken kan detta leda till så högt tryck att tanken exploderar. Detta kan innebära livsfara, inte bara i fordonets närhet utan även resultera i att delar av tanken kastas mycket långt. En explosion kan inträffa vid fullt utvecklade bränder ca 10–25 minuter från det att branden startar (MSB, 2016). Teoretiskt, kan en tryckkärlsexplosion av en 130 L CBG-tank vid ett tryck på 200 bar frigöra en energi som uppskattningsvis motsvarar en detonation av 1.85 kg TNT (8.7 MJ). Fönster kan gå sönder inom 30 m radie (50 mbar) och tryckvågens dödlighet kan förutses inom en radie av 12 m (140 mbar) (Perrette and Wiedemann, 2007).

En Amerikansk studie (Lowell, 2013) redovisar internationell statistik över olyckor med komprimerad metangas varav merparten kommer från USA, se Tabell 5 nedan. Enbart incidenter med system som är konstruerade i enlighet med internationella fordonsregler är inräknade. 50 tankbrott har skett vilket man kan tolka som 50 tryckkärlsexplosioner under perioden 1976–2010. Detta är den vanligaste olyckstypen som är inrapporterad, vilket dock kan bero på att många andra mindre allvarliga fall inte fångades upp. Flertalet av tryckkärlsexplosionerna skedde under tankning eller under brandpåverkan. I ungefär 35% av tryckkärlsexplosionerna löste inte smältsäkringen ut trots förhöjt tryck i cylindern från en lokal brand som exponerade tanken, men inte smältsäkringen. De flesta fall är begränsade till en felande tank. I mer än hälften av fallen då smältsäkringen löste ut antändes gasen, ofta på grund av dålig installation, till exempel med rör dragna genom motorrummet som den initiala branden förstört så att gasen släpps ut i motorrummet. 18 fall av tankbrotten berodde på skadade cylindrar vilket hade kunnat fångas upp genom inspektion. Fler länder (inklusive Sverige sedan 2018) har infört striktare kontroller av gastankar vilket väntas leda till färre tryckkärlsexplosioner (MSB, 2016).

Tabell 5 Incidenter med CBG-fordon under perioden 1976–2010 i hela världen (Lowell, 2013).

Incident	Antal
Tankbrott	50
Smältsäkring som felaktigt löst ut	14
Fordonsbrand utan tankbrott	12
Läckande tank	14

De senaste åren har det skett flera explosioner med metandrivna fordon i Sverige. På en brinnande buss exploderade en gastank under tiden som räddningsarbetet pågick. Två

## Bilaga 1

brandmän blev lindrigt skadade men hade bussen exploderat bara några minuter tidigare hade brandmännen antagligen skadats allvarligt (Hagberg et al., 2016). Strax därefter brann en bil där sedan en gastank exploderade, brandmännen var inte i närheten av bilen men delar av taket landade bara en dryg meter från en brandman<sup>15</sup>. I Sverige har det på senare tid också skett tryckkärlsexplosioner vid tankning av två olika gasfordon<sup>16</sup>. Enligt uppgift från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) exploderade tankarna vid 230 bars tryck. Trolig orsak är korrosion. Sedan 2018 kontrolleras fordonskastankar för skador såsom korrosion, vilket väntas leda till färre tryckkärlsexplosioner (MSB, 2016).

Det är viktigt att komma ihåg att även om anmärkningsvärda olyckor sker så är samtidigt många olyckor med gasfordon inblandade inte värre, eller vanligare, än olyckor med konventionella fordon (Lönnermark, 2014).

### 2.3.2 Fordonsrelaterade scenarier för flytande metan

Om tanken skadas så att läckage uppstår kan två olika situationer inträffa. Uppstår läckaget ovanför vätskeytan av den kalla, kondenserade gasen kommer läckaget generera ett gasmoln. Läckaget kommer dock att avta i intensitet då trycket i tanken sjunker eftersom förångningen kräver värmeförsel. Om tanken skadas så att läckaget uppstår under vätskeytan, kommer kall vätska att strömma ut under tryck och inledningsvis förångas häftigt när den träffar marken eller andra varma ytor (relativt -162 °C) men kommer därefter, framför allt vid större mängder, att relativt snabbt att kyla ner underliggande markyta och resultera i en vätskeformig pöl som därefter förångas i en långsammare takt och bildar ett mer långvarigt gasmoln. Ett läckage av en kryogas kan på grund av dess mycket låga temperatur ge frostsador på människor och material. Den kalla metangasen är initialt tyngre än luft och kan askumuleras i lågpunkter.

Vid brandpåverkan kommer den nedkylda gasen inne i tanken att börja värmas upp. Det ökar förångningen och därmed också trycket inne i tanken vilket även här leder till att säkerhetsventilen kommer att öppna. Är isoleringen runt tanken endast utformad som en termosflaska, dvs dubbla mantlar med vacuumisolering, och denna är skadad, kommer isolerförmågan att minska drastiskt även om ”termoskonstruktionen” kommer att fungera som en flamskärm. Om isoleringen utgörs av vacuumisolering kombinerad med isolermaterial kommer isolerförmågan att bibehållas betydligt bättre och värmeflödet vara betydligt mer begränsat vilket gör att säkerhetsventilen har stora förutsättningar att hålla trycket i tanken på en säker nivå tills branden släckts eller gasen brunnit ut. Under olyckliga omständigheter med skadad isolering (eller ej fungerande säkerhetsventil) finns det dock möjlighet att värmepåverkan blir mycket kraftigt så att säkerhetsventilen inte hinner hantera tryckökningen vilket då kan leda till att trycket stiger ytterligare. Eftersom tankens hållfasthet samtidigt minskar, kan detta leda till en tankexplosion som resulterar i en BLEVE, vilket innebär att den nu upphettade kondenserade gasen förångas momentant när tanken brister och trycket utjämnas. BLEVEN kan följas av en brandboll (med en radie på flera meter) om gasen antänds med en mycket hög värmestrålning mot omgivningen under några sekunder. Olycksfall med LBG är inte lika vanliga som CBG. En orsak kan vara att flytande gas inte är lika vanligt förekommande och att den isolerade kryotanken är bättre skyddad mot extern brand.

Till skillnad från spill av vätskeformiga bränslen, där man ofta försöker tvätta ur ett gasmoln med vattendimma, skall detta undvikas vid utsläpp av kondenserad gas då värmen från vattnet kommer att öka förångningshastigheten. I detta fall måste man i så fall förhindra att vattnet kommer i kontakt med vätskepölen och om möjlighet finns, istället försöka täcka över spillet med någon form av presenning eller motsvarande eller att använda tryckluftsskum med så lite

<sup>15</sup> [http://www.ctif.org/sites/default/files/news/files/extra\\_news\\_december.pdf](http://www.ctif.org/sites/default/files/news/files/extra_news_december.pdf)

<sup>16</sup> <http://www.expressen.se/dinapengar/volkswagen-aterkallar-gasbil-efter-explosion/>  
<http://teknikensvarld.se/gasbil-exploderade-vid-tankning-av-biogas-i-linkoping-182638/>

## Bilaga 1

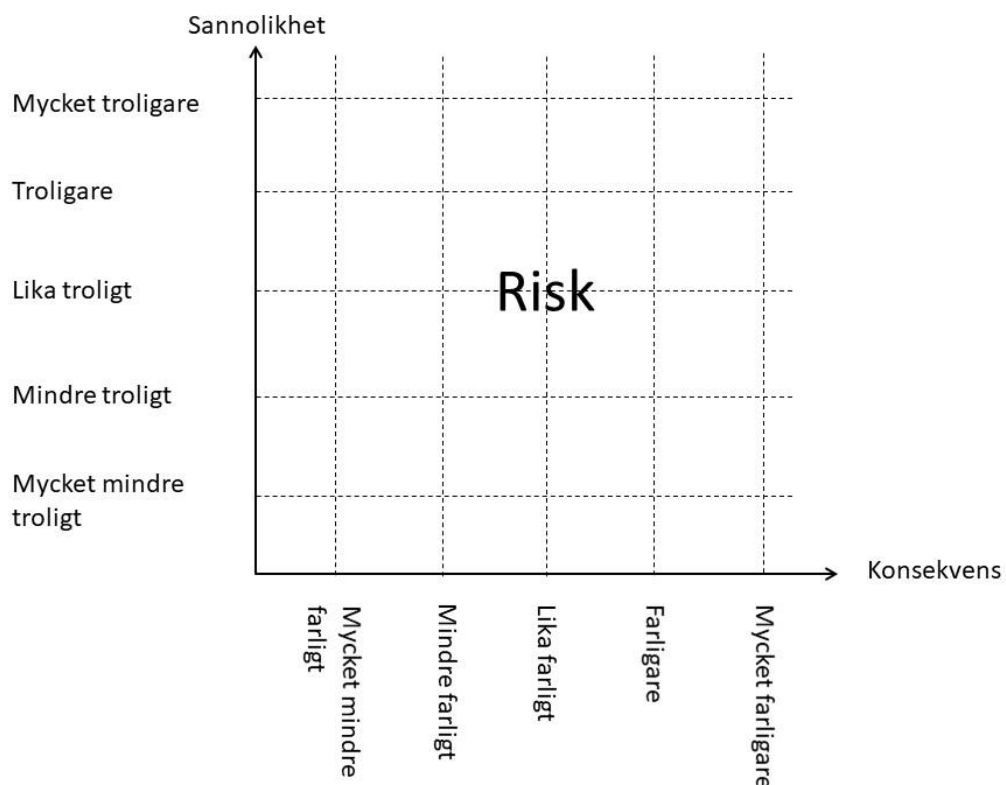
vatten i som möjligt för att minska förångningshastigheten.

Utsläpp av kondenserad LBG sprids efter marken och fyller snabbt lågt liggande utrymmen. Efter en tid börjar gasen att blanda sig med luften och spridas till omgivningen. Gasmolnet syns bra då den kalla gasen får vattenånga i luften att kondensera och bilda dimma.

### 3 Kvalitativ riskanalys

Det här avsnittet ger först en bakgrund till risk, sannolikhet och konsekvens relevant för lastbilsbränslen följt av en scenarioanalys på de mest relevanta brandscenariona.

Risk definieras som sannolikheten (S) och konsekvensen (K) för att en viss händelse ska ske, dvs.  $Risk=(S,K)$ . S och K värderas i kvalitativa mått om fem nivåer: S=[mycket mindre troligt, mindre troligt, lika troligt, troligare, mycket troligare], K=[mycket mindre farligt, mindre farligt, lika farligt, farligare, mycket farligare], se Figur 7.



Figur 7 Risk som kombinationen av sannolikhet och konsekvens.

Risker som ingår i uppdraget begränsas till scenarier där drivmedlet spelar en avgörande roll. En kvantitativ eller mer ingående kvalitativ analys skulle kräva mer resurser, men skulle kunna leda till att vissa risker som är noterade i denna rapport kan tas bort eller reduceras. Dock är det också sant att tillgången till kvantitativa data för olika drivmedels inverkan på brand är bristfällig. En kvantitativ riskanalys skulle därför vara behäftad med stora osäkerheter.

Vanliga brandsorsaker i gruvmiljö är elektriska fel samt bränsle, oftast hydraulolja, som kommer i kontakt med heta ytor.

#### 3.1 Sannolikhet

De fysikaliska parametrar som man normalt använder sig av vid klassificering av

## Bilaga 1

sannolikheten för brand omfattar flampunkt, brännbarhetsområde och termisk tändpunkt. Även bränsleångornas/gasens densitet i relation till luft är av intresse då detta ger information kring hur ångor/gas sprids vid ett utsläpp. För vätskor är flampunkten av avgörande betydelse för att bedöma en vätskas antändlighet. Vid en vätskebrand är det bränslets ångor som tillsammans med luft brinner. Vid ett öppet bränslespill måste vätskan ha en temperatur över dess flampunkt för att kunna antändas. Vid temperaturer över flampunkten kommer det alltid att finnas ett område där bränsleångorna ligger inom sitt brännbarhetsområde som kan antändas om en tändkälla finns närvarande.

**Flampunkt:** Är den lägsta temperatur en vätska måste ha för att kunna ge upphov till en antändbar bränslekonzentration tillsammans med luft ovanför vätskeytan.

**Brännbarhets/explosionsgränser:** När en brännbar gas blandas med luft skapas en gasblandning och mängden av brännbar gas brukar oftast uttryckas i volymprocent i förhållande till luftmängden. Vid för låg bränslekonzentration (för mager blandning) är bränslemängden för liten och gasen är då inte brännbar. Gränsvärdet då koncentrationen når en brännbar/explosiv koncentration kallas den undre brännbarhetsgränsen. Ökas koncentrationen av den brännbara gasen ytterligare kommer man till slut till en gräns där bränslemängden blir för stor (för fet blandning) och gasblandningen blir då återigen inte brännbar och detta gränsvärde kallas den övre brännbarhetsgränsen. Området däremellan utgör alltså gasens brännbarhetsområde.

För vätskor kan även brännbarhetsområdet uttryckas som ett temperaturområde, dvs. den temperatur som vid stationära förhållanden i ett slutet kärl ger upphov till en bränslekonzentration som motsvarar den undre (dvs. flampunkten) respektive den övre brännbarhetsgränsen. Dessa uttrycks då alltså i °C.

**Termisk tändpunkt:** Den temperatur som krävs för att självantända en gasblandning utan annan extern tändkälla.

**Relativ densitet:** Anger bränsleångornas densitet i relation till luft. Om bränsleångorna är betydligt tyngre än luft finns stor risk för ansamling av brännbara gaser i lågpunkter, vid en densitet betydligt lägre än luft stiger gasen och blandas snabbt ut med luft så att koncentrationen sjunker under brännbarhetsgränsen.



## Bilaga 1

Tabell 6 Egenskaper som påverkar sannolikheten för antändning.

Ämne	Relativ densitet (luft=1) <sup>17</sup>	Flampunkt (°C)	Brännbarhetsområde (volym-%)	Termisk tändpunkt (°C)
METAN	0.6	-188	5 – 17	540
ETANOL	1,6	12	3 – 19	360
BENSIN	3.5	<-20	1 – 8	400
DIESEL	7	60	1 – 7	220

Tabell 6 sammanställer ovanstående parametrar för bensin, diesel, etanol och metangas. CBG har något högre densitet på grund av 2–4 % CO<sub>2</sub>. LBG har en densitet på 0.42 kg/l i flytande form. Avdunstad LBG blir i princip ren metangas.

Vid förvaring av ett vätskeformigt bränsle i ett slutet kärl kommer ett jämviktstillstånd att infinna sig som leder till en bränsle-luftblandning som beror av temperaturen. Om temperaturen ligger mellan flampunkten och den övre brännbarhetsgränsen så är bränsleblandningen inne i kärlet brännbar och kan vid en antändning ge upphov till en explosion. Detta innebär också att en brand utanför tanken kan leda till antändning, antingen genom att en flamma tänder bränsleångorna i till exempel ventilationsöppningen eller annan otäthet eller att någon del av tanken når bränslets termiska tändpunkt.

Zalosh et al. (1994) argumenterar för att läckande metangas snabbt späds ut under antändlighetsgränser. Enbart mindre explosioner kan därmed ske (ca 2.2 kPa), vilket även gäller för tunnlar med en longitudinell ventilation på minst 0.1 m/s. Studien utgick från ett ledningsbrott på en bränsleledning från en 200 bars tank med 24 kg CBG, vilket ledde till i snitt 0.35 kg/s utsläpp under 68 s. Notera att detta är på högtryckssidan så liknande siffror kan väntas för lastbilar eller om en smältsäkring löser ut. Med en ventilation i arbetstunnlar i storleksordningen 0.01 m/s, kan klart större brännbara gasmoln än i Zalosh studie ovan hinna formeras. På lågtryckssidan av gassystemet kan mindre läckage väntas vilka späds ut än snabbare.

### 3.2 Konsekvens

Ovanstående egenskaper är till stor del kopplade till risken för antändning men i händelse av att en brand uppstår så är även värmevärde, värmestrålningsegenskaper samt rökproduktion av intresse, se Tabell 7. För drivmedelsbränder är bränderna begränsade, dvs. mindre i tabellen nedan. I Tabell 6 och Tabell 7 har bensin tagits med som jämförelse eftersom det är ett drivmedel som många kan relatera till.

<sup>17</sup> För ämne i gasfas vid 20 °C

Bilaga 1

Faktaruta

**Värmevärde:** Bränslets energiinnehåll (MJ/kg). Notera att värmevärdet är 5–10% lägre för CBG jämfört med LBG på grund av CO<sub>2</sub> rest. Värdet i Tabell 6 är för ren metangas, dvs. LBG i gasfas.

**Värmestrålning:** Ett mått på den energi som avges från en flamma i form av elektromagnetisk strålning och på detta sätt kan värma upp föremål även på avstånd från branden. Värmestrålningen kan skilja kraftigt mellan olika bränslen och är liksom avbrinningshastigheten beroende av brandytans storlek. Anges oftast som kW/m<sup>2</sup>. För enstaka fordon kan mindre bränder förutsättas.

**Rökproduktion:** Ett ämnes rökproduktion påverkar möjligheten till utrymning i slutna utrymmen. Mycket rök skapar svårigheter att orientera sig samt leder till nedsatt förmåga och slutligen medvetlöshet vid inandning. Vid bränder under mark är det främst röken som leder till hälsoproblem och i slutändan dödsfall. Vid fordonsbränder bildas också giftig rök från andra delar av fordonet, t.ex. plast, hydraulolja och däck.

Tabell 7 Egenskaper som påverkar konsekvenserna efter antändning.

Ämne	Värmevärde (MJ/kg)	Värmestrålning Mindre bränder (Låg/Medel/Hög)	Värmestrålning Större bränder (Låg/Medel/Hög)	Rökproduktion (Låg/Medel/Hög)
METAN	Ca 50	Låg	Hög	Låg
ETANOL	27	Låg	Hög	Låg
BENSIN	44	Hög	Medel	Hög
DIESEL	44	Hög	Medel	Hög

Till dessa parametrar kan också explosionsparametrar (se avsnitt 1.7 och 2.3) läggas till; sannolikheten för tryckkärlsexplosion eller BLEVE vid brand påverkas av tankens konstruktion, säkerhetssystem och brandexponeringen. Konsekvensen för en tryckkärlsexplosion styrs främst av tankens volym och tryck och för en BLEVE av mängden vätska samt temperatur.

### 3.3 Scenarioanalys

Eftersom riskanalysen avser valet av drivmedel har en jämförande analys valts där alternativa drivmedel jämförs med diesel. En stor fördel med en sådan analys är att man kan bortse från scenarier där inte valet av drivmedel spelar en avgörande roll (de har samma risk oavsett drivmedel).

Läckande drivmedel kan antingen antändas av varma fordonsdelar eller släppas ut i arbetstunnelmiljön. Har en brand väl startat kan bränslet bidra till branden eller en explosion. I en arbetstunnel finns inget genomströmmande luftflöde. Under perioden 2007–2012 inrapporterades 5 däckbränder till MSB, 3 av dessa begränsades till skador på släpet och en gick så långt att både tankbil och släp brann upp. Enligt olycksstatistik från MSB är de

## Bilaga 1

vanligaste olyckstyperna för lastbilar kollision, avåkning eller vältning, brand i bromsok, däck eller motorrum. Utifrån dessa scenarier är brand i motor eller däck/bromsok det mest relevanta scenariot för arbetstunnlar där kollision, avåkning eller vältning inte anses vara troligt eller ens möjligt. Detta betyder att denna studie kan begränsas till en brand som startar i lastbil driven av antingen diesel, ED95, CBG eller LBG.

I arbetstunnlar ger en mekanisk tilluftskanal ett minimalt luftflöde vilket kommer att begränsa brandtillväxten och minska risken för spridning. Detta gör att branden troligtvis är begränsad till det initiala brandobjektet. Därtill kommer den att självslockna på grund av vändande brandgaser om den är nära stuffen, dvs. en död ände. Om branden uppkommer närmare rampen ner till arbetstunneln kan den dock generera ett tillräckligt luftflöde med hjälp av de varma gasernas stigningskraft (Gehandler and Ingason, 2018).

Ibland lyckas föraren släcka eller begränsa en påbörjad brand med medhavd brandsläckare, men det finns fall då branden har spridit sig till hela lastbilen. En brand i motor eller däck kan påverka lastbilens bränsletank, vilket gör detta till ett relevant scenario. Arbetstunnlar är relativt slutna utrymmen med låg ventilation vilket belyser scenariot med läckande drivmedel. Följande tre scenarier bedöms vara de mest intressanta att analysera vidare.

- S1. Läckande drivmedel som inte antänds av fordonet.
- S2. Läckande drivmedel som antänds i motorrummet.
- S3. En däck- eller motor-brand som exponerar drivmedelstankar (senare uppdelad i S3:1 respektive S3:2).

## S1 Läckande drivmedel som inte antänds av fordonet



Det bör noteras att bränsle inte avses lagras under mark. Detta skulle ge en avsevärt mer problematisk situation, inte minst för etanol, där ångor från även ett mindre läckage över en helg eller en natt hade kunnat ackumuleras i stor mängd i låga punkter. Lastbilarna är inte stationära i arbetstunneln, utan de kör ner, lossas/lastas, och kör upp.

En diesel eller etanoltank kan bli utsatt för skadegörelse eller genom slitage skadas och gå sönder. En försvagad tank för CBG kan, vid tankning, brista vilket leder till en tryckkärlsexplosion. Under drift sjunker trycket i tanken vilket gör en plötsligt tryckkärlsexplosion mindre trolig i en arbetstunnel. CBG tankar är designade med en stor säkerhetsmarginal (ska klara över 400 bars tryck) och ska inte kunna gå sönder av normala driftstryck, om inte tanken är utsatt för korrosion. Detta förutsätts hanteras genom underhåll och rutininspektioner. Även för LBG tankar kan stora säkerhetsmarginaler väntas för själva tanken. För alla drivmedel kan en bränsleledning börja läcka.

Vätskeformiga drivmedel som diesel och ED95 rinner då ner på marken. Diesel kommer på grund av sin höga flampunkt inte att kunna producera brännbara luft-bränsleblandningar. Etanol däremot kan leda till att brännbara ångor ansamlas i låga utrymmen av arbetstunneln. Volymen brännbara blandningar styrs av utsläppets omfattning och ventilationsförhållandena. Då ventilationen är låg, men inte obefintlig, kan mindre brännbara volymer bildas som kan leda till en mindre explosion om de antänds. Större utsläpp av etanol skulle kunna leda till att etanolångor ansamlas i låga punkter och tränger undan syre vilket kan leda till en syrefattig miljö och kvävning. Gasdetektorer kan användas för att upptäcka en försämrad luftmiljö i god tid.

För LBG och CBG system sker ett läckage från en bränsleledning i gasfas. Ett utsläpp av biogas kan ske om fordonet är i drift eller om tändningen är påslagen. I andra fall är magnetventilen stängd, vilket gör att enbart begränsade mängder gas kan läcka ut. Ett utsläpp av metan beter sig på motsatt sätt som etanol. I närheten av rampen kommer gasen accelerera

## Bilaga 1

upp till det fria och bidra till en ökande luftinströmning. Vid utsläpp i arbetstunneln nära stuffen kan gas ansamlas i anslutning till utsläppet eller i fickor i taket. Storleken på eventuella gasmoln påverkas av ventilationen och utsläppets storlek. Utsläpp kommer ske i marknivå vilket betyder att en gasplym kommer stiga mot taket. Frisk luft kommer att sugas in i plymen vilket bidrar till att gasen späds ut. Vid hög ventilation (över 0.1 m/s för genomströmmande flöden) skulle gasen snabbt spädas ut under den nedre brännbarhetsgränsen. På grund av den relativt låga ventilation i arbetstunnlar kan brännbara metan-luftmoln dock inte uteslutas. Om det antänder sker en mindre explosion när gasen förbränns. I jämförelse med ED95 kommer metan-luftmolnet där en brännbar blandning finns troligtvis vara mindre än etanol-luftmolnet eftersom metan späds snabbare och har ett snävare brännbarhetsområde.

Tabell 8 Sannolikhet för läckande drivmedel, jämfört med diesel.

<b>CBG</b>	Mindre troligt
<b>LBG</b>	Mindre troligt <sup>18</sup>
<b>Etanol</b>	Lika troligt

Tabell 9 Konsekvens av läckande drivmedel jämfört med diesel.

<b>CBG</b>	Farligare
<b>LBG</b>	Farligare
<b>Etanol</b>	Mycket farligare

## S2 Läckande drivmedel som antänds i motorrummet



Antändning mot en het yta är en komplex process som är styrd av bränslet, motormiljö och temperaturen på heta ytor. Dieselmotorer arbetar under väldigt höga tryck, hundra till tusen bar, vilket ökar påfrestningarna på kopplingar och ledningar. Detta ökar sannolikheten för läckande drivmedel som antänds mot en het yta, en s.k. spraybrand. För tänsdstiftsmotorer som drivs av CBG är situationen den omvända, bränslesystemet nära motorn har mycket lägre tryck, tiotals bar, än i

CBG tanken, ungefär samma tryck som i LBG tanken. Sannolikheten för att ett drivmedel antänds i en varm motormiljö kan antas minska med ökande termisk tändpunkt, även om betydligt högre temperaturer, t.ex. minst 300–500 °C för diesel, krävs för antändning mot heta ytor (Henningsson, 2015). I motormiljön innebär ett läckage från ett CBG eller LBG fordon att metan i gasfas läcker ut. I en turbulent motormiljö kommer mindre mängder gas snabbt spädas ut under brännbarhetsgränsen. Vid lite större läckage med en brännbar blandning metangas-luft krävs temperaturer någonstans över den termiska tändpunkten på 540 °C, gissningsvis 600–700 °C för antändning mot heta ytor vid. Eftersom etanol har en högre termisk tändpunkt, och ED95 innehåller 5–10 % vatten är det mindre troligt att ED95 antänds i en motormiljö jämfört med diesel, gissningsvis (data saknas) krävs minst 500–600 °C. Uppskattad sannolikhet för antändning i en motormiljö, jämfört med diesel summeras i Tabell 10. Konsekvenserna av antändning är desamma (även om diesel ger mycket mer rökbidrag än etanol och metan som nästan inte ger någon rök alls) oavsett drivmedel: en motorrummsbrand som analysera i mer detalj i S3 nedan.

<sup>18</sup> Under antagande att övertrycksventilering i arbetstunneln undviks

## Bilaga 1

Tabell 10 Sannolikhet för antändning i en motormiljö, jämfört med diesel.

<b>CBG<sup>19</sup></b>	Mycket mindre troligt
<b>LBG<sup>19</sup></b>	Mycket mindre troligt
<b>Etanol</b>	Mindre troligt

### S3 Brand i motor eller däck som påverkar bränsletank

Här förutsätts en brand som startar i däck eller motorrum som utvecklar sig till en väl utvecklad brand som sprider sig till hytten och påverkar fordonets bränsletank genom strålning eller direkta flammor. Bränder i motorer eller däck är inte ovanliga. En brand i ett dubbeldäck kan enligt tidigare experiment på SINTEF nå upp till 900 kW efter ca 25 min och fortgå under ca 60 min (Hansen, 1995). En motorbrand i motorrummet kan beroende på var den börjar, utvecklas snabbt eller långsamt, och efter spridning till hytten komma upp i maxeffekt på ca 5 MW, enligt experiment utförda på SP Brandteknik.

Påverkan på en bränsletank beror främst på tankens konstruktion och placering i förhållande till branden. Värms innehållet upp så sker en tryckökning. För drivmedel i vätskeform under normalt tryck, till exempel diesel, så kommer i första hand bränsleångor att värmas upp varefter bränsleångor ventileras ut och antänds. Några 100 l bränsle tar lång tid att värmas upp. Metalltanken kyls av det vätskeformiga bränslet vilket kan förväntas förhindra att bränslet rinner ner på marken. Dock kan en bränsleledning brinna av så att bränsle långsamt rinner ut på marken. För fall då bränslet inte rinner ut kan det väntas att förångat bränsle brinner i tanköppningen eller säkerhetsventilen med en kvastformig flamma som avger högst någon MW. För etanol kan ett snabbare förlopp förväntas med en snabbare tryckökning inne i tanken. För bränsle som rinner ut på marken bildas en pölbrand där bränslet kan brinna upp snabbare och med en högre effekt, men eftersom underlaget i arbetstunnlar består av singel kommer ett eventuellt läckage på marken, dvs. en pölbrand, påverkas av underlaget, vilket ger en reducerad brandeffekt. Pölbranden kan till och med självslockna på grund av att gruset tar upp värme.

Vid normal utomhustemperatur är blandningen i en dieseltank mager. Vid en temperatur på runt 60 °C kan en antändning i tanken dock inte uteslutas. För etanol finns redan från början en brännbar blandning i tanken vilket kan ge en tidigare antändning i tanken om metallmaterialet ovanför vätskelinjen hinner värmas upp tillräckligt snabbt innan blandningen i tanken blir för fet. Konsekvenserna av en sådan explosion blir troligtvis en flera m lång kvastformig brand i riktning ut från brottstället med en effekt i storleksordningen flera MW.

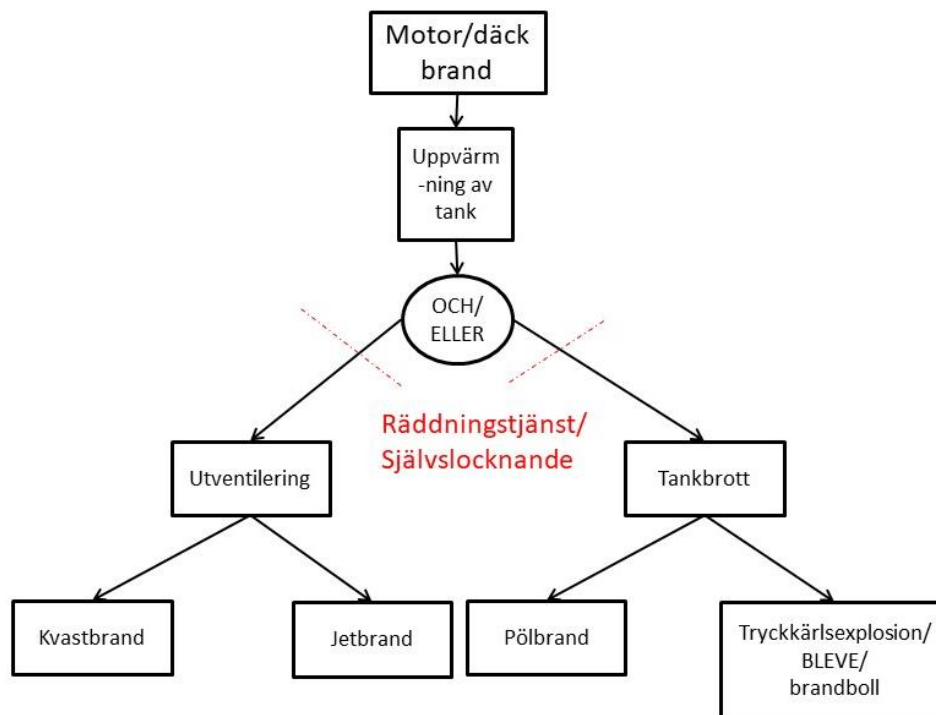
För kryogas, d.v.s. LBG, finns en god isolering varför inte så mycket kan förväntas hända alls så länge vakuumet inte förloras, trots brandpåverkan. För tryckkomprimerad gas, d.v.s. CBG kommer en relativt snabb uppvärmning av tanken och gasen leda till en tryckökning för ståltankar som ska ventileras ut genom smältsäkring. Det kan förutsättas att en sådan jetflamma har en högre effekt (på grund av högre tryck i tanken) än motsvarande brand för diesel och ED95, i storleksordningen 5–10 MW om tillräckligt med syre finns tillgängligt. Men på grund av den mer begränsade mängden tryckkomprimerad biogas kan en mindre mängd total energi väntas jämfört med diesel eller ED95. Den totala energimängden för diesel/etanol/LBG som kan brinna upp kan antas vara liknande, i proportion till önskad räckvidd. För LBG kan en mindre jetbrand väntas när säkerhetsventilen lättar på trycket vid ca 15 bar.

<sup>19</sup> För en lastbils enbart driven av CBG/LBG. Om diesel (eller bensin) används i kombination ökar sannolikheten för antändning till åtminstone 'Lika troligt'.

## Bilaga 1

Sannolikheten för en tryckkärlsexplosion för brandutsatta CBG tankar beror på tankens konstruktion och skick samt hur smältsäkringens exponeras för branden. Om branden inte aktiverar smältsäkringens sker en tryckkärlsexplosion när tankmaterialet inte klarar hålla trycket i tanken. En LBG tank kan rämma om branden är tillräckligt kraftig och om tankens isolering är skadad så att den tryckstyrda säkerhetsventilen inte klarar att ventilerar ut trycket tillräckligt snabbt innan materialet i tanken har försvagats och inte kan hålla trycket i tanken. Tillgängligt underlag pekar på att sannolikheten för att en LBG tank rämnar är mycket låg. En tryckkärlsexplosion skulle följas av en BLEVE (för LBG) och en efterföljande brandboll när gasen antänds (för CBG och LBG).

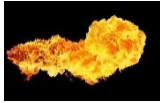
Det kan antas att föraren eller andra arbetare upptäcker branden och gör en första släckinsats. Om denna misslyckas kontaktas räddningstjänsten som kommer dit inom 10–20 minuter, dvs. under brandens tillväxtfas. För fordon med vätskeformiga bränslen har räddningstjänst möjlighet att påbörja en släckinsats. För gasformiga drivmedeltankar under brandpåverkan väljer räddningstjänst normalt en defensiv taktik och låter branden brinna ut. Detta medför en ökad sannolikhet för tryckkärlsexplosioner. Skadefallet från en tryckkärlsexplosion kan genom en defensiv taktik dock begränsas till materiella skador på fordon och närliggande utrustning. För bränder nära stoffen kan det förväntas att branden självdör, vilket gör att räddningstjänst inte behöver göra någon släckinsats. Scenarieutvecklingen åskådliggörs i Figur 8 nedan.



Figur 8 Händelsesträd för S3, motor- eller däckbrand som påverkar bränsletank. Räddningstjänst eller självslockning kan hindra förloppet och släcka branden. Kvastbrand och pölbrand refererar till vätskebränder och jetbrand och explosioner refererar till CBG/LBG.

Bilaga 1

**S3:1 Kvastbrand eller jetbrand**



Den vänstra sidan av trädet i Figur 8 (S3:1), kvastbrand eller jetbrand, är det förväntade och önskade händelseförloppet för en brand som exponerar bränsletanken. Uppskattad sannolikhet och konsekvens jämfört med diesel återfinns i Tabell 11 och Tabell 12.

Tabell 11 Sannolikhet för kvastbrand/jetbrand (S3:1), jämfört med diesel.

<b>CBG</b>	Lika troligt
<b>LBG</b>	Lika troligt
<b>Etanol</b>	Troligare

Tabell 12 Konsekvens vid kvastbrand/jetbrand (S3:1) jämfört med diesel.

<b>CBG</b>	Farligare
<b>LBG</b>	Lika farligt
<b>Etanol</b>	Mindre farligt

**S3:2 Pölbrand eller explosion**



För den högra sidan av trädet i Figur 8 (S3:2), är i Tabell 13 sannolikheten för en pölbrand eller explosion, jämfört med diesel uppskattad. I Tabell 14 är konsekvenser vid tryckkärlsexplosion/pölbrand jämfört med diesel uppskattade.

Tabell 13 Sannolikhet för pölbrand/tryckkärlsexplosion (S3:2), jämfört med diesel.

<b>CBG</b>	Mindre troligt
<b>LBG</b>	Mycket mindre troligt
<b>Etanol</b>	Lika troligt

Tabell 14 Konsekvens vid tryckkärlsexplosion/pölbrand (S3:2), jämfört med diesel.

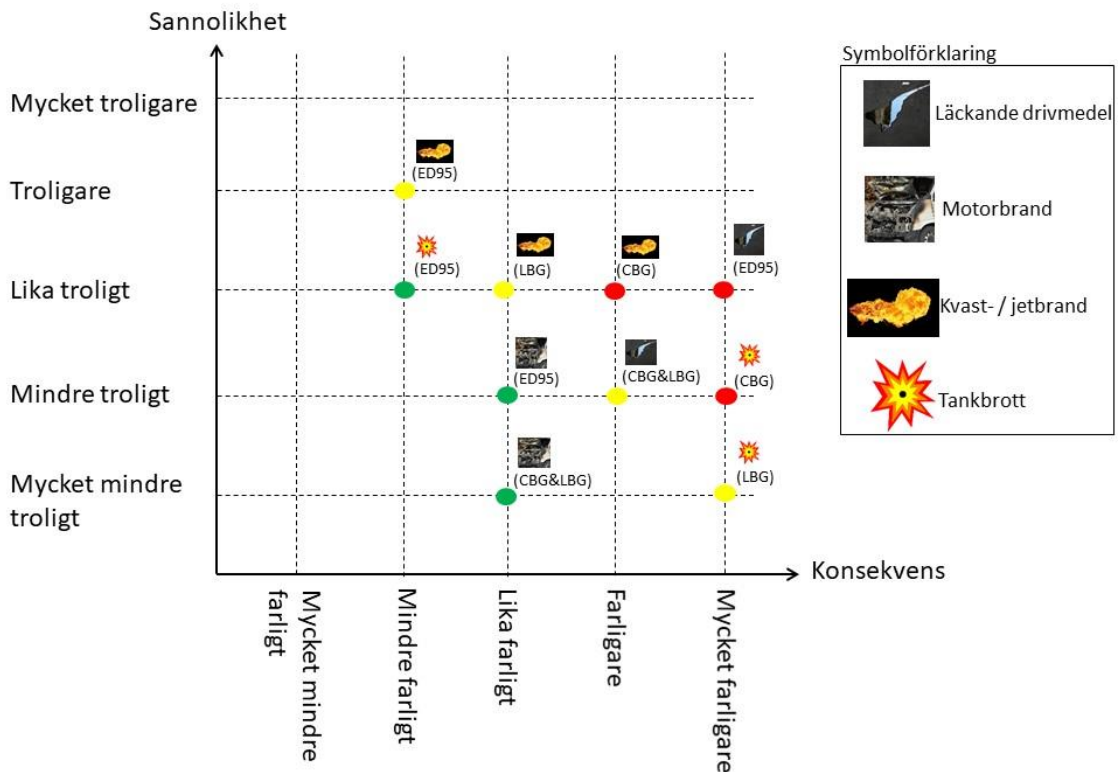
<b>CBG</b>	Mycket farligare
<b>LBG</b>	Mycket farligare
<b>Etanol</b>	Mindre farligt

I Figur 9 är riskerna jämfört med diesel (Motsvarande risker för diesel skulle hamna i punkten lika farligt, lika troligt) från Scenario S1 till S3 inlagda per drivmedel i riskmatrisen (Figur 7).

**3.4 Riskvärdering**

Sett till riskernas sammanvägda storlek ger tre scenarier-drivmedel fall en reducering av risk (grön) och tre fall en riskökning (röd), jämfört med diesel, se Figur 9. En minskning i antalet motorbränder och bränder där drivmedlet bidrar väntas för ED95/CBG/LBG, jämfört med diesel. En större konsekvens när olyckor väl sker kan väntas för ED95/CBG/LBG fordon. Sammantaget ges en annan riskbild, jämfört med diesel som drivmedel i arbetstunnlar, som kan kräva en anpassning av regelverk och hantering.

## Bilaga 1



Figur 9 Riskvärdering sett till riskens sammanvägda storlek (sannolikhet och konsekvens).

Utifrån gängse riskhanteringspraxis är de rödmarkerade riskerna i Figur 9 de mest kritiska och de risker för vilka riskreducerande åtgärder främst skulle övervägas. Det bör noteras att dessa risker hittills har accepterats av samhället för andra utrymmen under mark såsom vägtunnlar och parkeringsgarage, även om lokala förbud kan förekomma (Gehandler et al., 2016). I tunnlar har man dock (gäller ej nödvändigtvis för parkeringsgarage) ofta mer ventilation än i arbetstunnlar (påverkar dock enbart S1, läckande drivmedel som inte antänds).

### 3.5 Riskreducerande åtgärder

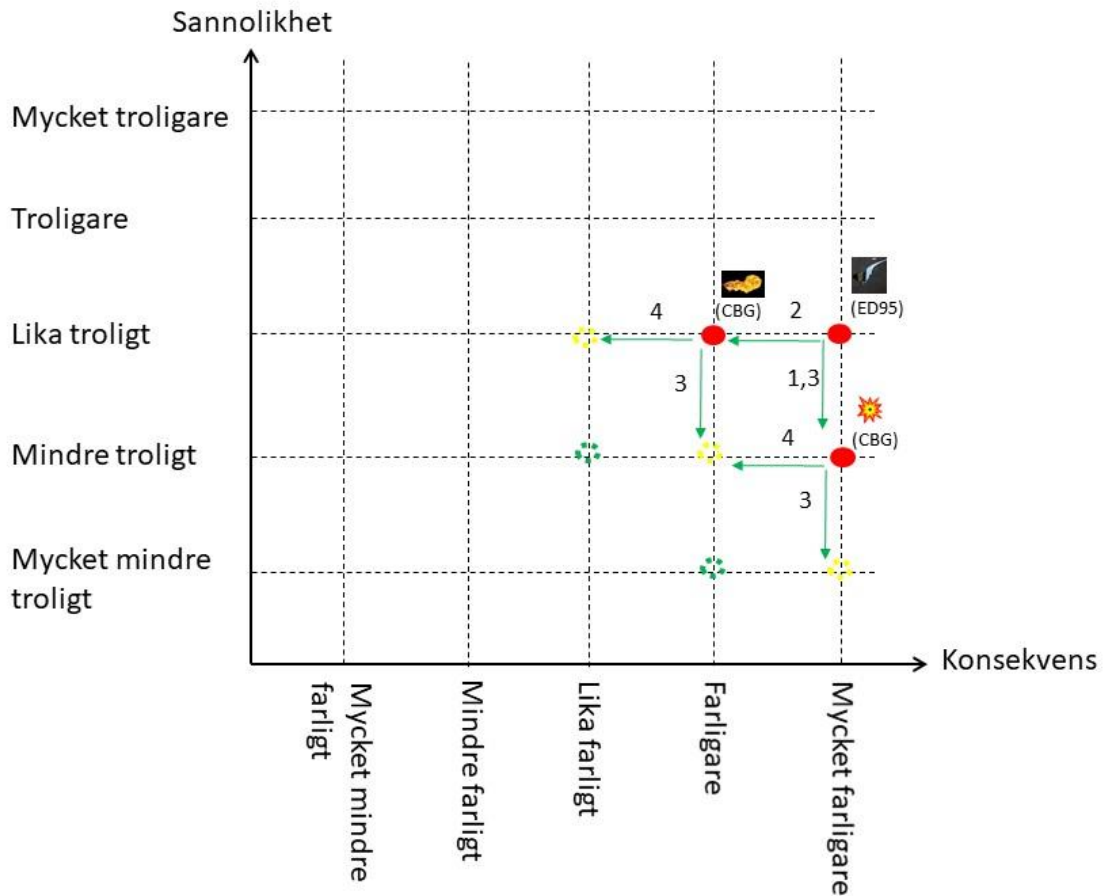
Ett antal riskreducerande åtgärder kan övervägas:

1. Gasetektorer kan identifiera biogas i höga punkter och ED95 i låga punkter i systemet (reducerar konsekvensen för läckande ED95).
2. En ökning av ventilationen i arbetstunneln till ett flöde om minst 0.1 m/s skulle begränsa storleken på bränsle-luftmoln drastiskt (reducerar konsekvensen för läckande drivmedel).
3. Vid inpassage till arbetstunneln skulle man kunna kontrollera om fordon visar tecken på överhettning eller läcker kolväten (reducerar sannolikheten för läckage och brand, alla scenarier).
4. Man skulle kunna kräva att förare ska ha utbildning för att köra ADR-transport och att fordonet lever upp till ADR-kraven, vilket skulle öka möjligheten för föraren att genomföra en första insats vid t.ex. brand (konsekvensreducerande).

I Figur 10 är det illustrerat hur riskåtgärd 1 till 5 ovan påverkar de tre rödmarkerade riskerna från Figur 9. Alla rödmarkerade risker går att reducera, både med avseende på konsekvens och sannolikhet.



## Bilaga 1



Figur 10 röda risker rör sig mot gult eller grönt (dvs. lika säkert eller säkrare än diesel) beroende på val av riskreducerande åtgärd och dess effektivitet.

## 4 Diskussion

I följande stycke diskuteras den mest kritiska riskbilden för etanoldiesel, komprimerad och flytande metangas separat. För etanoldieselfordon noteras en riskökning för utsläpp av drivmedel som rinner ner på marken med ångor som kan ansamlas i låga punkter i systemet. Detta ger en arbetsmiljörisk vid inandning. Detektorer kan minska sannolikheten för att arbetare exponeras, men en viss sannolikhet kommer att kvarstå. En positiv aspekt med etanol är att etanol brinner med en klar låga och lite sot vilket skapar bättre förutsättningar för utrymning och släckning.

Komprimerad metangas har en förhöjd risk för en jetbrand och en tryckkärlsexplosion., jämfört med diesel. Det är dock troligt att personal hunnit avlägsna sig på betryggande avstånd eftersom gastanken först behöver värmas upp av branden ett tiotal minuter innan den riskerar brista. Mer kritiskt kan det vara för räddningspersonal som dock behöver hantera den här risken i många andra utrymmen. För bränder nära stuffen är det troligare att branden hinner självslockna innan en gastank hinner brista. För lastbilsbränder i eller nära rampen kan det förutsättas att branden får tillräckligt med syre för att antingen leda till en jetbrand eller tryckkärlsexplosion. Å andra sidan kan det väntas att antalet motorbränder orsakade av läckande drivmedel för komprimerad och flytande metangas kommer att minska jämfört med diesel.

Flytande metangas har snarare en lägre än högre risk jämfört med diesel. Detta beror på att

## Bilaga 1

tanken med sin isolerande funktion ger ett skydd mot brand. En jetflamma från säkerhetsventilen kan uppstå vid förhöjt tryck och upphör när trycket i tanken har gått ner. Flytande metangas är dock mycket kallt, -162 °C, vilket kan ge köldskador om läckage skulle uppstå ifrån tanken. Detta är dock extremt osannolikt vid normal drift i en arbetstunnel, men är mer sannolikt vid t.ex. tankning som sker ovan mark.

I grund och botten är detta ett beslutsproblem där risken kopplat till olika drivmedel i ena vågskålen vägs mot respektive drivmedels fördelar såsom klimat och miljövinster i andra vågskålen. I den första vågskålen finns en liten men inte obetydlig risk som dock kan hanteras och kontrolleras, se avsnitt 3.5. I den andra vågskålen finns risker såsom risken för allvarliga hälsoproblem på grund av luftkvalitet eller klimatrisker som bara syns i form av den samlade klimatpåverkan från alla utsläpp av växthusgaser i form av olika kriser och extremväder. Kopplat till varje enskild lastbil blir det två mycket små tal som jämförs. Riskökningen för en viss lastbil med andra drivmedel jämfört med diesel är väldigt liten och klimatvinsten från en enda lastbil är också liten sett till den totala mängden utsläpp. Sett till alla svenska arbetstunnlar och brandsäkerhet pekar statistiken på att det handlar om någon olycka per 5-10 år. Under en sådan tidsperiod transporteras en oerhört stor mängd lågvärdigt gods till och från svenska arbetstunnlar. Som redan nämnts används lastbilar för lågvärdigt gods både ovan och under mark. Den totala årliga drivmedelsförbrukningen för lastbilar i Sverige ligger på 30 TWh<sup>20</sup>. Om exempelvis en femtedel av alla lastbilars drivmedelsförbrukning ersätter dagens genomsnittsdiesel (285 ton CO<sub>2</sub>/GWh) med något som har en klimatpåverkan motsvarande biogas/ED95 (cirka 70 ton CO<sub>2</sub>/GWh) till följd av förbättrade eller förenklade arbetsmiljöreglerverk, ger det:

$$6000 \frac{\text{GWh}}{\text{år}} * (285 - 70) \frac{\text{ton CO}_2}{\text{GWh}} = 1\,300\,000 \frac{\text{ton CO}_2}{\text{år}}$$

Det vill säga 1,3 miljoner ton CO<sub>2</sub> per år i minskad klimatpåverkan. Detta visar att klimatnyttan av att lätta lite på dessa reglerverk har en hög potential. Det står klart att en liten arbetsmiljörisk vägs mot en potentiellt mycket stor klimatvinst. Det verkar därmed som att samhället tjänar mer på att transportera fossilfritt än vad som förloras i termer av minskad säkerhet.

Det bör noteras att alternativa drivmedel inklusive etanol och metan är tillåtna i vägtunnlar och parkeringsgarage under mark utan restriktioner avseende utrymmets miljö eller säkerhet. För garage under mark är Boverket, MSB och Transportstyrelsen på olika sätt ansvariga myndigheter (Gehandler et al., 2016). Samtidigt kan mycket större konsekvenser väntas vid t.ex. en tryckkärlsexplosion i ett parkeringsgarage under mark med en byggnad ovanpå än i en arbetstunnel eftersom de flesta arbetstunnlar har en stark bärande struktur i form av berg medan byggnader är mycket sårbara för tryckökningar. Det är även tillåtet att köra farligt godstransporter genom flera tunnlar transporterandes betydligt större mängder drivmedel och en potentiellt värre konsekvens än den som skulle gälla från en lastbilstank i en arbetstunnel. Det är också tillåtet att transportera farligt gods med alternativa drivmedel. Även om inte samma myndigheter är styrande kan det tolkas som viss dubbelmoral att tillåta en potentiellt större risk i ett fall men inte tillåta en mindre risk i ett mycket snarlikt annat fall. Samma personer kan arbeta i en arbetstunnel, köra genom tunnlar och parkera i allmänna garage under mark, privat likväl som i tjänsten. Rimligtvis skulle samma regler gälla.

---

<sup>20</sup> Genomsnittlig drivmedelsförbrukning gånger genomsnittlig körsträcka gånger antal lastbilar, Trafik Analys: [https://www.trafa.se/globalassets/pm/2017/pm-2017\\_2-transportsektorns-samhallsekonomiska-kostnader--bilagor.pdf](https://www.trafa.se/globalassets/pm/2017/pm-2017_2-transportsektorns-samhallsekonomiska-kostnader--bilagor.pdf), och <https://www.trafa.se/globalassets/statistik/trafikarbete/2018/trafikarbete-pa-svenska-vagar-1990-2017.pdf>

## Bilaga 1

För klimatet kan positiva synergieffekter inom bygg- och transportbranschen väntas om fordon kan användas både under mark och över mark. Detta gäller även regeringens ambition att stärka den civila beredskapen genom en lokalproducerad drivmedelsförsörjning (Naturvårdsverket, 2019), detta omfattar med största sannolikhet olika typer av verksamheter under mark. Lastbilar som används i arbeten under mark används även ovan mark. På samma sätt finns synergieffekter för arbetsfordon i allmänhet som används både ovan likväl som under mark. För en omställning av branschen krävs att förnyelsebara drivmedel kan användas överallt där maskinerna används, alltså i många fall både över och under mark.

#### 4.1 Rekommendation

De EU direktiv som är införlivad i AFS 2010:1 om berg- och gruvarbete gäller säkerhet och hälsa inom utvinningsindustrin, dvs inom gruvnäringen och inte för arbetstunnlar. Det finns också stora skillnader som ger olika förutsättningar för elektrifiering. Många gruvor är placerade utifrån en långsiktig utvinning i norra Sverige vilket gör att de har goda förutsättningar till eldrift. Tvärtom är arbetstunnlar tillfälliga arbetsplatser som typiskt inte har möjlighet att ta ut större mängder el från befintligt elnät. Därmed är förutsättningarna för att bli fossilfri väldigt olika. Detta gör att det finns goda skäl att behandla gruvor och arbetstunnlar olika. Samtidigt förändras samhället allt snabbare, detta gör att detaljreglering som förbjuder eller tillåter vissa drivmedel snabbt kan bli missvisande. Därför har man inom flera områden, t.ex. Boverkets brandskyddsregler (BBR26, 2018, BBRAD3, 2018), gått över till att föreskriva vilken funktion som ska uppnås. Syftet med § 15 i AFS 2010:1 måste vara att man vill uppnå en god säkerhet och arbetsmiljö vid användandet av fordon och förbränningsmotorer. Samtidigt måste avsikten vara att även fordon utan förbränningsmotorer, t.ex. eldrivna fordon, är säkra och att risker kopplade till dessa, t.ex. giftiga/explosiva gaser vid termisk rusning hanteras. § 15 skulle därmed kunna tas bort (åtminstone för arbetstunnlar) och ersättas med ett funktionskrav (som ev. redan finns i andra paragrafer):

*Användningen av utrustning inklusive maskiner och fordon med eller utan förbränningsmotorer ska ske på ett för ändamålet och arbetsmiljön anpassat och säkert sätt. Den riskbild som nyttjade energikällor medför ska beaktas, speciellt ur ett brand- explosion- och luftkvalitets-perspektiv. En riskanalys ska utföras och riskreducerande åtgärder övervägas så att risken blir likvärdig för motsvarande dieselfordon.*

## 5 Slutsatser

Denna rapport syftar till att utreda om etanol- och metangasfordon medför högre risker än dieselfordon och om dessa risker kan minskas eller helt undvikas. Rapporten avser att vara ett underlag för vidare beslut om hur arbeten i arbetstunnlar och under jord ska kunna bli fossilfria.

Brand i fordon är en relativt vanlig brandsorsak ovan likväl som under mark i gruvmiljö. Dock har bara tre bränder i arbetstunnlar, tunnlar under byggnation kunnat identifieras i Sverige sedan 1990-talet. Om metan eller etanol skulle användas istället för och jämfört med diesel som drivmedel i arbetstunnlar ger det en annan riskbild. Givet de utmaningar samhället står inför och utifrån de risker och teknologier som hanteras i dagens samhälle anses att det går att göra arbete i arbetstunnlar säkert också med metan eller etanol, med en anpassning till den nya riskbilden.

Etanol (ED95) medför en förhöjd risk för ansamling av bränsleångor i låga punkter. Denna risk kan kontrolleras genom detektorer och läckagekontroll. Risken för ansamling av etanolångor minskar också med ökande ventilation.

Komprimerad biogas (CBG) ger en förhöjd risk för jetflamma och tryckkärlexplosion vid

## Bilaga 1

brand. Risken kan kontrolleras genom inpassagekontroll som screenar bort fordon med förhöjd brandrisk.

Flytande biogas (LBG) har en mindre eller jämförbar risk med diesel för samtliga identifierade scenarier. Risken för övertrycksventilering nere i arbetstunneln kan hanteras genom mätning och/eller rutin för hur fordonet används.

Klimatnyttan av att lätta lite på Arbetsmiljöverkets regelverk har en hög potential. En liten arbetsmiljörisk vägs mot en potentiellt mycket stor klimatvinst. Användningen av metan och etanol under mark kan samtidigt bidra till att minska Sveriges sårbarhet och stärka den civila beredskapen. Det verkar därmed som att samhället tjänar mer på att transportera fossilfritt än vad som förloras i termer av minskad säkerhet.

## Referenser

- ADR-S 2015. ADR-S 2015: Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng. MSB.
- BAKER, W. E., COX, P. A., KULESZ, J. J., STREHLOW, R. A. & WESTINE, P. S. 1982. *Explosion hazards and evaluation*, New York, Elsevier Scientific Publishing Company.
- BBR26 2018. Boverkets byggregler (BFS 2011:6 t.o.m. BFS 2018:4). Karlskrona: Boverket.
- BBRAD3 2018. Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BFS 2011:27 t.o.m. BFS 2013:12). Karlskrona: Boverket.
- BEARD, A. & CARVEL, R. (eds.) 2012. *The Handbook of tunnel fire safety*, London: ICE Publishing.
- BJERKETVEDT, D., BAKKE, J. R. & VAN WINGERDEN, K. 1997. Gas explosion handbook. *Journal of Hazardous Materials*, 52, 1-150.
- BRUNE, J. F., CASHDOLLAR, K. L. & ZIPF, R. K. 2008. *Explosion Prevention in United States Coal Mines*, CDC, Centers for Disease Control and Prevention.
- CRUICE, W. J. 1991. Explosions. In: COTE, E. (ed.) *Fire Protection Handbook*. Fourth ed. Quincy, MA, USA: NFPA.
- FORTH2 1991. Fortifikationshandbok del 2. Stockholm, Sweden: Överbefälhavaren.
- GEHANDLER, J. & INGASON, H. 2018. Principer och strategier för ventilation vid brand i undermarksanläggningar. *RISE Rapport*.
- GEHANDLER, J., KARLSSON, P. & VYLUND, L. 2016. Risker med nya energibärare i vägtunnlar och underjordiska garage.
- HAGBERG, M., LINDSTRÖM, J. & BACKLUND, P. 2016. Olycksutredning: Brand i gasbuss, Gnistångstunneln, Göteborg 12 juli 2016. Räddningstjänsten Storgöteborg.
- HANSEN, P. A. 1995. Fire in tyres: Heat release rate and response of vehicles. Trondheim, Norway: NBL.
- HANSEN, R. 2011. Design Fires in Underground Hard Rock Mines. Västerås, Sweden: Mälardalen University.
- HANSEN, R. 2015. *Study of heat release rates of mining vehicles in underground hard rock mines*, Västerås : School of Business, Society and Engineering, Mälardalen University, 2015.

## Bilaga 1

- HENNINGSSON, D. 2015. Hot Surface Ignition of Several Alternative Fuels. *Luleå University of Technology, Luleå.*
- HYSAFE 2009. Initial Guidance for Using Hydrogen in Confined Spaces - results from InsHyde Deliverable D113 of HySafe.
- ILO 1974. Prevention of accidents due to explosions underground in coal mines. Geneva, Switzerland: International Labour Office.
- INGASON, H., LI, Y. Z. & LÖNNERMARK, A. 2015. *Tunnel Fire Dynamics*, New York, Springer.
- INGASON, H., LÖNNERMARK, A., FRANTZICH, H. & KUMM, M. 2010. Fire incidents during construction work of tunnels. *SP Report*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- LOWELL, D. 2013. Natural Gas Systems: Suggested Changes to Truck and Motorcoach Regulations and Inspection Procedures. U.S. Department of Transportation.
- LÖNNERMARK, A. 2014. New Energy Carriers in Tunnels. *In: INGASON, H. & LÖNNERMARK, A. (eds.) Proceedings from the Sixth International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS 2014)*. Marseille, France: SP Technical Research Institute of Sweden.
- LÖNNERMARK, A., VYLUND, L., INGASON, H., PALM, A., KRISTER PALMKVIST, KUMM, M., FRANTZICH, H. & FRIDOLF, K. 2015. Rekommendationer för räddningsinsatser i undermarksanläggningar. SP Technical Research Institute of Sweden.
- MSB 2012. Händelser med farliga ämnen 2006-2010. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- MSB 2014. Transport av farligt gods - Händelserapportering 2007-2012. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- MSB 2016. Gasdrivna fordon – händelser och standarder.
- NATURVÅRDSVERKET 2019. Förslag till regeringen från myndigheter i samverkan: Underlag till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019. Stockholm.
- PERRETTE, L. & WIEDEMANN, H. K. CNG buses safety : learnings from recent accidents in France and Germany. Society of automotive engineer world Congress, Apr 2007 2007 Detroit, United States.
- SJÖSTRÖM, J., APPEL, G., AMON, F. & PERSSON, H. 2015. ETANKFIRE – Experimental results of large ethanol fuel pool fires. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- UNECE 2014. Regulation No. 110 - CNG and LNG vehicles *In: EUROPE, T. U. N. E. C. F. (ed.)*.
- ZALOSH, R., AMY, J., HOFMEISTER, C. & WANG, W. 1994. Dispersion of CNG Fuel Releases in Naturally Ventilated Tunnels. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.