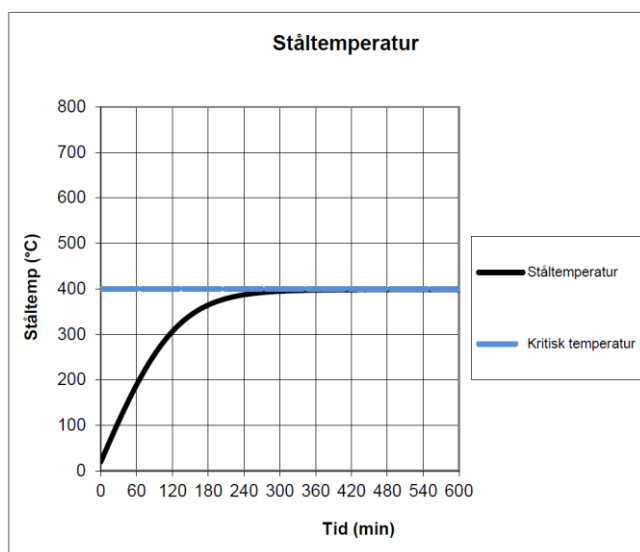
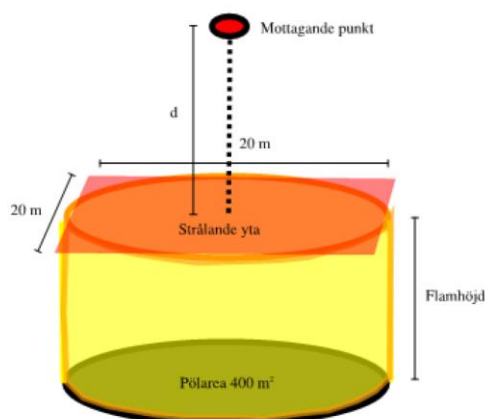


Risikanalys

Säkerhetsavstånd för linbana

Den lila stomlinbanan i Göteborg, december 2016



FÖRORD

I syfte att kunna komma vidare i detaljplaneringen linbanans sträckning genom den bebyggda staden har trafikkontoret under hösten 2016 givit konsultbolaget WSP i uppdrag att göra en riskanalys av de troligaste alternativa sträckningarna. Beställningen har skett i samråd med Storgöteborgs räddningstjänst.

WSPs konceptrapport redovisas här. Ståndpunkter, rekommendationer och slutsatser är WSPs.

Trafikkontoret kommer gå vidare med studier om olycksfrekvenser och skattningar av mängden brandmaterial i olika byggnader längs de troliga sträckorna samt bedömningar av rimliga brandskyddsåtgärder för att minska strålningsexponering mot linbaneanläggningen vid eventuell brandolycka.

Dessa arbeten är en del av trafikkontorets och Västtrafiks arbete med att ta fram en genomförandestudie för stadslinbanan mellan Wieselgrensplatsen och Järntorget. Hela genomförandestudien bedöms vara färdig tidigt 2018.

Göteborgs Stad har genom Trafiknämnden sedan 2013 utrett frågan om linbanor som en del av det kollektiva resandet i Göteborg. Göteborg & Co fick i oktober 2009 i uppdrag av kommunstyrelsen utreda hur stadens 400-årsjubileum skulle kunna firas. Göteborg & Co genomförde utredningsuppdraget i en öppen dialog med nämnder, bolag, allmänhet och ett stort antal experter inom en rad olika områden. Resultatet summerades i *Möjligheter på väg till Göteborgs 400-årsjubileum. Förslag till arbetsplan*. Linbana i Göteborg fanns då med som ett medborgarförslag.

2016 fastställdes en åtgärdsvalsstudie för linbana över älven och nu pågår en genomförandestudie och detaljplanering av en stadslinbana mellan Wieselgrensplatsen och Järntorget.



UNITED
BY OUR
DIFFERENCE



Risikanalys

Säkerhetsavstånd för linbana

Den lila stomlinbanan, Göteborg

KONCEPTRAPPORT

2016-10-21

Uppdragsgivare

Trafikkontoret
Göteborgs Stad
Box 2403
403 16 Göteborg

Kontaktperson: Per Carlberg

WSP kontaktperson

Fredrik Larsson
WSP Sverige AB
Box 13033
402 51 Göteborg

Tel: +46 10 7225000
Fax: +46 10 7227420

www.wspgroup.se

Dokumenthistorik och kvalitetskontroll

Utgåva/revidering	Utgåva 1	Revision 1	Revision 2	Revision 3
Anmärkning	Konceptrapport			
Datum	2016-10-21			
Handläggare	Malin Jyrinki Kristina Lidell			
Granskare	Johan Lundin			
Godkänd av	Fredrik Larsson			
Projektnummer	10238904			

Sammanfattning

WSP har av Trafikkontoret fått i uppdrag att göra en riskanalys i samband med planeringen av en linbana från Järntorget till Wieselgrensplatsen. I uppdraget ingår bedömning och motivering av scenarier för brand och explosion som grund för upprättande av generella normer för säkerhetsavstånd och skyddsvillkor för linbana.

Linbanans sträckning går över infrastruktur med farligt gods-transporter såsom Hamnbanan och Göta Älv. I linbanans närområde finns även andra riskkällor såsom drivmedelsstationer, väg E45/Oscarsleden, Lundbyleden, Rosenlundsverket samt mynningen till Götatunneln. Dessutom passerar linbanan över bostadshus, skola och lagerlokaler.

En konsekvensbaserad metod har inledningsvis valts för riskanalysen och sju konservativa brand- och explosionsscenarier har sammanställts utifrån utförd riskinventering. Dessa innefattar pölbrand, fordonsbrand, brand i fastighet (bostad/kontor), explosion (vid transport av explosivt ämne), gasmolnsbrand, BLEVE och jetflamma.

Konsekvensberäkningar har genomförts för identifierade scenarier med avseende på påverkan på linorna, personsäkerheten i gondolerna vid system i drift och personsäkerheten i gondolerna vid stillastående system.

Riktlinjer för säkerhetsavstånd har tagits fram vilka baseras på beräkningar av konsekvensavstånd för identifierade riskscenarier. I tabell nedan presenteras vertikala säkerhetsavstånd för respektive riskkälla (dock även horisontellt avstånd för bostads-/kontorsfastigheter), baserat på det längsta konsekvensavstånd som respektive riskkälla ger upphov till.

Denna typ av konservativa säkerhetsavstånd tar utgångspunkt i att riskpåverkan från riskkällan skall vara noll. Säkerhetsavstånden blir i många fall långa vilket kan medföra att de är praktiskt svåra att tillämpa. Därmed bör vidare utredning utföras där hänsyn även tas till sannolikhet/frekvens för olycksscenarierna. Då kan i stället säkerhetsavstånd som maximalt medför en viss acceptabel risknivå tas fram. Sådana avstånd blir i regel kortare samtidigt som viss riskpåverkan accepteras, vilket ofta är en nödvändig avvägning i samhällsplanering. Innan en sådan avvägning gjorts är det därför viktigt att de presenterade avstånden i denna rapport ses som konservativa riktlinjer och en identifiering av de riskkällor som har så långa säkerhetsavstånd att de påverkar anläggningen och behöver utredas vidare.

Riskkälla	Händelse	Säkerhetsavstånd till linor (m)	Säkerhetsavstånd till gondoler vid system i drift (m)	Säkerhetsavstånd till gondoler vid stillastående system (m)
Drivmedelsstationer Lundbyleden	Pölbrand	55	58	84
Vägar (utan förekomst av farligt gods)	Brand i fordon	29	28	48
Bostads-/kontorsfastigheter och vissa lagerlokaler*	Brand i byggnad	32 (mätt från tak) horisontellt: 21	25 (mätt från tak) horisontellt: 17	58 (mätt från tak) horisontellt: 41
Hamnbanan	Explosion	250	250	250
Danmarksterminalen Göta Älv	Pölbrand	55	58	84

* För lagerlokaler med mer än ringa hantering av brandfarliga och explosiva varor, stora lagerlokaler, lagerlokaler med hög brandbelastning eller lagerlokaler i fler än ett plan bör risker och behov av säkerhetsavstånd studeras separat.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Syfte och mål	5
1.3	Avgränsningar	5
1.4	Underlagsmaterial	6
1.5	Internkontroll	6
2	Områdesbeskrivning	7
2.1	Linbanans funktion och sträckning	7
2.2	Infrastruktur	9
3	Metod och förutsättningar	12
3.1	Riskinventering	12
3.2	Deterministisk analysmetod	12
3.3	Förutsättningar för beräkningar	12
4	Riskidentifiering	14
4.1	Transportleder för farligt gods	14
4.2	Drivmedelsstationer	15
4.3	Rosenlundsverket	16
4.4	Götatunnelns mynning	16
4.5	Stenas Danmarksterminal	16
4.6	Brand i fastighet	16
4.7	Fordonsbrand	17
4.8	Sammanställning av riskscenarier	17
5	Resultat	21
6	Diskussion	22
7	Förslag på fortsatt arbete	23
8	Slutsatser	24
	Bilaga A. Konsekvensberäkningar	25
	Referenser	48

1 Inledning

WSP har av Trafikkontoret i Göteborg fått i uppdrag att göra en riskanalys i samband med planeringen av en linbana från Järntorget till Wieselgrensplatsen. I uppdraget ingår bedömning och motivering av scenarier för brand och explosion som grund för upprättande av generella normer för säkerhetsavstånd och skyddsvillkor för linbana.

I aktuell rapport tas konsekvensbaserade säkerhetsavstånd fram, vilket är avståndet från en riskkälla till den punkt där skadlig effekt ej uppstår. Ingen hänsyn tas till sannolikheten för att ett olycksscenario ska inträffa. Det innebär i praktiken att vid detta avstånd är riskpåverkan från riskkällan lika med noll, vilket ger konservativa säkerhetsavstånd jämfört med hur risker brukar hanteras i fysisk planering. Säkerhetsavstånden bör därför ses som grova initiala riktlinjer som en grund för en mer detaljerad analys i kommande skeden.

1.1 Bakgrund

Trafikkontoret planerar en linbana mellan Järntorget och Wieselgrensplatsen, via Lindholmen och Lundby i ett sammanhållet projekt. Linbanan är knappt tre kilometer lång och ska utgöra en del av kollektivtrafikens stomnät. Trafikkontorets arbetsnamn för denna anläggning är den lila stomlinbanan.

Trafikkontorets målsättning är att linbanan ska skapa bättre förutsättningar för nyexploatering samt förbättra livsvillkor för boende och resenärer. Syftet är att till år 2021 skapa en tvärlänk som möjliggör en tätare och mer sammankopplad stad.

Linbanans sträckning går över infrastruktur med farligt gods-transporter såsom Hamnbanan, Göta Älv och väg E45/Oscarsleden. I linbanans närområde finns även andra riskkällor såsom drivmedelsstationer, Rosenlundsverket samt mynningen till Götatunneln. Dessutom passerar linbanan över bostadshus, skola och lagerlokaler.

1.2 Syfte och mål

Syftet med riskanalysen är att utgöra en grund för upprättande av generella normer för säkerhetsavstånd och skyddsvillkor för linbana.

Målet med riskanalysen är att identifiera riskkällor, beräkna konsekvensavstånd för identifierade skadehändelser samt baserat på detta ge förslag på säkerhetsavstånd. Säkerhetsavstånden ska sedan kunna användas vid bedömningen av lämpligheten med planerad linbanebebyggelse.

1.3 Avgränsningar

Rapporten har följande avgränsningar:

- I riskanalysen belyses, i enlighet med uppdragets omfattning, olyckor förknippade med brand och explosion i linbanans sträckning. Olyckor avseende t.ex. giftiga gaser/brandgaser berörs således ej.
- De risker som har beaktats är plötsligt inträffade skadehändelser (olyckor) med livshotande konsekvenser för linbanesystemet och dess resenärer, d.v.s. risker som påverkar personers liv och hälsa. Eventuella skador på naturmiljön eller skador orsakade av långvarig exponering för avgaser eller buller har inte beaktats. Egendomsskador har endast beaktats i avseende att linbanans linor och gondoler ska klara valda riskscenarier.
- Andra risker (såsom till exempel påsegling, påflygning, vind, is, korrosion, blixtnedslag, brand i anläggningen, hur omgivningen kan påverkas av anläggningen i form av t.ex. nedfall etc.) berörs ej, i enlighet med uppdragets omfattning, utan förutsätts hanteras inom ramen för andra riskutredningar.

- Endast konsekvensområden har beräknats. Ingen hänsyn har således tagits till sannolikhet/frekvens för en händelse.
- Påverkan på linor/gondoler avseende brandplymer har ej beaktats. Detta då strålning bedömts utgöra merparten av den värmepåverkan som linor/gondoler utsätts för vid brand. I fallet då gondolen passerar en brandplym förväntas den passera området så snabbt att plymen inte hinner värma upp gondolen/linorna i någon större grad. Värmepåverkan från brandplymen i sig förväntas således inte kunna sätta systemet ur drift. I det fall systemet är ur drift och en brand uppkommer under linbanan bedöms värmepåverkan via strålning vara den avgörande faktorn. För att brandplymen ska kunna påverka systemet i någon större grad, samtidigt som maximal strålningspåverkan från branden erhålls, krävs specifika vind – och väderförhållanden. Därmed utförs beräkningarna utifrån strålningspåverkan från branden. Avseende giftiga brandgaser har detta ej berörts, i enlighet med uppdragets omfattning.
- Samtliga typer av lagerlokaler har inte utretts. Detta eftersom konsekvenser av brand i lagerlokal är beroende av vad som lagras, något som snabbt kan ändras över tid. De konsekvensområden som beräknas för höga kontors- och bostadsfastigheter bedöms kunna gälla även för lagerlokaler förutsatt att följande uppfylls:
 - Eventuell hantering av brandfarlig och explosiv vara sker i ringa omfattning och följer de lagar och förordningar som finns.
 - Lokalerna uppfyller krav på brandteknisk avskiljning enligt Boverkets Byggregler.
 - Lagringen innebär inte hög brandbelastning.
 - Lagerlokalen är utförd i ett plan motsvarande normal våningshöjd.

För lagerlokaler där brandbelastningen är hög, det är mycket eldfängt material som lagras, där byggnaden är utförd i flera plan och/eller är utförd som höglager, eller där utförandet/lagringen på annat sätt skiljer sig mot normal hantering bör en riskanalys för det specifika fallet utföras. Se avsnitt 4.6.1 för ytterligare beskrivning av lagerlokaler.

1.4 Underlagsmaterial

Arbetet baseras på följande underlag:

- Offertförfrågan, Göteborgs Stad, Trafikkontoret, 2016-08-26, Dnr 2367/15.
- Möten med Räddningstjänst och Trafikkontoret, 2016.
- Information om linbanorna, Christof Albrecht, per e-mail, 2016.
- Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, Stadsbyggnadskontoret, 2006.
- Riskbedömning för detaljplan - Blandstad för stadsbebyggelse vid Järnvågsgatan m.fl., WSP, 2015-06-17.

1.5 Internkontroll

Rapporten är utförd av Malin Jyrinki (Civilingenjör Riskhantering) och Kristina Lidell (Brandingenjör/Civilingenjör i Riskhantering) med Fredrik Larsson (Brandingenjör/Civilingenjör Riskhantering) som uppdragsansvarig. I enlighet med WSP:s miljö- och kvalitetsledningssystem, certifierat enligt ISO 9001 och ISO 14001, omfattas denna handling av krav på internkontroll. Detta innebär bland annat att en från projektet fristående person granskar förutsättningar och resultat i rapporten. Ansvarig för denna granskning har varit Johan Lundin (Brandingenjör/Tekn. Dr.).

2 Områdesbeskrivning

I detta kapitel ges en övergripande beskrivning av den planerade linbanan samt av infrastruktur i närområde till linbanans korridorer.

2.1 Linbanans funktion och sträckning

Linbanan planeras gå mellan Järntorget och Wieselgrensplatsen, via Lindholmen och Lundby. Den är knappt tre kilometer lång och ska utgöra en del i kollektivtrafikens stomnät.

Den planerade linbanan förutsätts ha en kapacitet om 2000-3000 resenärer per riktning och timme, vilket motsvarar en spårvagnslinje med 32 meter långa vagnar i 6-8 minuters-trafik. För att möjliggöra denna kapacitet ska ett trekabligt cirkulerande system användas med avkopplingsbart grepp. Det avkopplingsbara greppet gör att gondolerna helt kommer att stanna inne på stationerna utan att stoppa övriga gondolors framfart. Det trekabliga systemet gör systemet mer stabilt då en kabel driver fram gondolerna medan de övriga två fungerar stabiliserande. Systemet drivs av två elmotorer som sitter i en av stationerna. Varje system har ett eller flera reservaggregat med redundant energiförsörjning. Vid ett eventuellt stopp i systemet är huvudstrategin att föra gondolerna till stationerna och där evakuera resenärerna.

I Figur 1 nedan visas linbanans planerade sträckning. Observera att placering av station Lundby ännu inte är fastställd. Därför studeras båda de alternativa korridorerna i riskanalysen.

Linbanans sträckning går över infrastruktur med farligt gods-transporter såsom Hamnbanan, Göta Älv och väg E45/Oscarsleden. I linbanans närområde finns även drivmedelsstationer, Rosenlundsverket samt mynningen till Götatunneln. Dessutom passerar linbanan över bostadshus, skola och lagerlokaler.



Figur 1. Planerad sträckning av linbanan. Eftersom placering av station Lundby inte ännu r fastställd studeras två korridorer.

2.2 Infrastruktur

Här ges en övergripande beskrivning av infrastruktur i närområde till linbanans korridorer.

2.2.1 Göta Älv

Linbanan går över Göta älv, som är en viktig transportled för regionen då fartygstrafiken är relativt intensiv. I Göta älvs farled tillåts transporter av farligt gods med fartyg. Bland annat får farligt gods transporteras på Stenafärjan till Danmark. Transporterna av farligt gods på Göta Älv omfattar nästan uteslutande brandfarlig vätska (klass 3). Pålastning sker till viss del från Masthuggskajen [1].

2.2.2 Hamnbanan

Linbanan går över järnvägen (Hamnbanan) vilken är en starkt trafikerad transportled för bland annat transporter av farligt gods. På Hamnbanan tillåts transport av farligt gods utan speciella restriktioner. Aktuell del av Hamnbanan utgörs av enkelspår med en maxhastighet på 40km/h. Ingen persontrafik förekommer på banan utan endast godstrafik. År 2030 förväntas hamnbanan trafikeras av cirka 87 godståg per dygn [2].

2.2.3 Lundbyleden

Linbanan går över vägtrafikleder såsom Lundbyleden som utgör en del av länsväg 155. Lundbyleden är fyrfilig och hastighetsbegränsad till 70 km/h samt en av Göteborgs mest belastade trafikleder. Aktuellt vägavsnitt utgör inte utpekad transportled för farligt gods. Enligt uppgift förekommer dock vissa transporter av brandfarlig vätska (ADR-S-klass 3) till t.ex. drivmedelsstationer [3].

2.2.4 Väg E45/Oscarsleden

Linbanan går över väg E45/Oscarsleden, i läge med Götatunnelns mynning (se Figur 5 nedan). Vägen ansluter i öster till Götatunneln som tillhör tunnelkategori E vilket innebär restriktioner mot transport av farligt gods andra än t.ex. diesel och eldningsolja med hög flampunkt.

Linbanan är belägen öster om Masthuggskajen och inga farligt-gods transporter får förekomma på aktuellt vägavsnitt på väg E45/Oscarleden. På väg E45/Oscarsleden från Jaegerdorffsmotet får farligt gods transporteras närmsta vägen till och från hamnen vid Masthuggskajen [1].

2.2.5 Drivmedelsstationer

Linbanans korridor passerar över en drivmedelstation (OKQ8) belägen vid korsningen mellan Hjalmar Brantingsgatan och Inlandsgatan. Station Wieselgrensplatsen är placerad ca 120 m från drivmedelsstationen, enligt Figur 2 nedan. Dessutom finns ytterligare två närliggande drivmedelstationer (Ingo och OKQ8) öster om linbanans sträckning, se Figur 3 nedan.



Figur 2. Ungefärlig placering för Station Wieselgrensplatsen och närliggande bensinstation OKQ8 Inlandsgatan.



Figur 3. Ungefärligt avstånd till bensinstationer, OKQ8 och Ingo, öster om linbanans sträckning.

2.2.6 Fastigheter

Linbanans passage går mestadels över transportleder enligt Figur 1 ovan. Utöver transportleder passerar linbanan över Campus Lindholmen, lokaler med lagerverksamhet samt över fastigheter med bostads- och/eller kontorsverksamhet. De högsta byggnaderna (om 12 våningar) som linbanans korridor passerar ligger vid Inlandsgatan, se Figur 4 nedan.



Figur 4. Linbanans passage över område med flerbostadshus.

2.2.7 Rosenlundsverket

Rosenlundsverket är ett kraftvärmeverk som primärt producerar fjärrvärme. Verket är beläget ungefär 195 meter från planerad placering av Station Järntorget enligt Figur 5 nedan. Förekommande bränslen på verket är naturgas och olja.



Figur 5. Ungefärligt avstånd mellan planerad placering av Station Järntorget och Rosenlundsverket.

3 Metod och förutsättningar

I följande kapitel beskrivs metod för riskanalysen kortfattat. En sammanfattning av de förutsättningar som legat till grund för beräkningarna ges.

3.1 Riskinventering

För att ta reda på vilka riskkällor som förekommer i och kring linbanans planerade korridor har kartstudier genomförts. I samråd med Räddningstjänsten Storgöteborg har sedan lämpliga riskscenarier för beräkningar tagits fram.

3.2 Deterministisk analysmetod

Den metod som används i analysen är deterministisk, vilket innebär att den är helt konsekvensbaserad och utgår ifrån identifierade riskscenarier och vilka konsekvenser dessa bedöms kunna få. Ingen hänsyn har tagits till sannolikheter för scenarierna i detta skede. Ett deterministiskt synsätt kan leda till att stora resurser måste satsas på att hindra mycket orimliga scenarier från att inträffa, något som ofta inte är praktiskt genomförbart. En konsekvensbaserad metod har dock fördelar såsom att den är relativt snabb och enkel att genomföra samt lätt att kommunicera vilket bedömts lämpligt inom ramen för detta projekt [4]. Med en sådan analys kan riskpåverkan som behöver studeras mer i detalj identifieras.

3.3 Förutsättningar för beräkningar

För att kunna ta fram säkerhetsavstånd har konsekvensberäkningar genomförts för de identifierade riskscenarierna. Förutsättningar för dessa beskrivs kortfattat nedan. För mer ingående beskrivning av förutsättningar och antaganden för beräkningarna hänvisas till bilaga A.

3.3.1 Linor

Linbanan kommer att utformas som ett trekabligt, cirkulerande system. En av linorna fungerar som ”draglina” och drar gondolerna framåt. De två resterande linorna fungerar som ”stödlinor” och nyttjas för att stabilisera gondolerna.

Enligt erhållen information får varken draglinan eller stödlinorna gå av, då ingen lina själv klarar att bära upp gondolerna [5]. Därmed utgår beräkningarna från att ingen lina får gå av. Enligt erhållen information får inte linorna värmas upp till över 400 °C, eftersom linorna vid denna temperatur förlorar hållfastheten. Vilken infallande strålning som medför att linornas temperatur överstiger 400 °C beror på scenario samt tidsrymd för eventuell brand.

3.3.2 Gondoler

Inga tydliga kriterier har erhållits för personsäkerheten i gondolerna. Därför har antaganden gjorts kring vilken värmestrålning som gondolerna kan utsättas för, både när systemet är stillastående samt i drift.

3.3.2.1 Stillastående system

Den strålning som personer kan utsättas för, under en obegränsat lång tid och utan att få skador, är 1 kW/m² [6]. För bestrålning under 1 minut går gränsen vid ca 2 kW/m² och för bestrålning under 2 sekunder cirka 20 kW/m² [7]. Avseende utrymningsdimensionering från byggnader accepteras dock att personer utsätts för en värmestrålning om 2,5 kW/m² [8].

KONCEPTRAPPORT

I aktuellt fall kommer personer i gondolerna erhålla ett visst strålningsskydd i form av gondolernas golv och väggar. Effekten av dessa har ej utretts inom ramen för detta uppdrag, men personer kommer inte att utsättas för en direkt strålningspåverkan från branden. T.ex. kan nämnas att en temperatur på 200°C utanför gondolerna medför en temperatur på 90°C i gondolerna [5]. För konservativa beräkningar nyttjas dock 2 kW/m² som kriterium för att kunna säkerställa personsäkerheten i gondolerna när systemet är stillastående.

3.3.2.2 System i drift

Det avstånd inom vilket personer förväntas omkomma antas vara där värmestrålningsnivån överstiger 15 kW/m². Det är en strålningsnivå som orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering (cirka 2-3 sekunder) samt den strålningsnivå som, i brandskyddsprojektering, bör understigas i minst 30 minuter utan att särskilda åtgärder vidtas i form av t.ex. brandklassad fasad [10] [11].

Detta är den strålningsnivå som gondolerna förutsätts kunna utsättas för när systemet är i drift och därmed kommer passera branden snabbt. Exempelvis tar sträckan Järntorget-Lindholmen om ca 1200 m ungefär 3,5 min (hastighet 6 m/s) [12].

Personer i gondolerna kommer då endast att utsättas för en kortvarig strålningsexponering om högst 15kW/m² (sannolikt lägre då gondolerna utgör ett skydd i sig).

3.3.3 Explosion

För person- och systemsäkerhet har det ingen betydelse om linbanan är i drift eller ej vid en explosion. Data för vilka tryck gondoler/linor klarar har ej erhållits. Gondoler och linor antas därmed haverera vid ett tryck på 40kPa, vilket motsvarar det tryck då moderna byggnader skadas svårt eller rasar [10].

4 Riskidentifiering

I detta kapitel redovisas riskidentifieringen. Riskkällor som identifierats och beskrivs nedan är:

- Transportleder för farligt gods
- Drivmedelsstationer
- Rosenlundsverket
- Götatunnelns mynning
- Stenas Danmarksterminal
- Brand i fordon
- Brand i fastighet

4.1 Transportleder för farligt gods

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för farliga ämnen och produkter som har sådana egenskaper att de kan skada människor, miljö och egendom om det inte hanteras rätt under transport.

Sträckningen av linbanan passerar över transportleder där transport av farligt gods förekommer i olika stor utsträckning. Göta Älv och Hamnbanan är de primära transportleder för farligt gods som linbanan passerar över. Dock kan transport av farligt gods även förekomma på området vid Danmarksterminalen (se avsnitt 4.5) och viss transport av brandfarlig vätska kan i mindre omfattning förekomma på Lundbyleden.

Transport av farligt gods omfattas av regelsamlingar [13] som tagits fram i internationell samverkan. Farligt gods delas in i nio olika klasser enligt de så kallade RID-S/ADR-S-systemen som baseras på den dominerande risken som finns med att transportera ett visst ämne eller produkt. I Tabell 1 nedan redovisas klassindelningen av farligt gods och en generell beskrivning av vilka konsekvenser som kan uppstå vid olycka.

Tabell 1. Kortfattad beskrivning av respektive farligt gods-klass samt konsekvensbeskrivning.

RID-S/ ADR-S Klass	Kategori	Beskrivning	Konsekvenser
1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etc. Maximal tillåten mängd explosiva ämnen på väg är 16 ton [13]. På järnväg kan mängden dock uppgå till 25 ton.	Orsakar tryckpåverkan, brännskador och splitter. Stor mängd massexplosiva ämnen ger skadeområde med 200-250 m radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma båda inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvensområden. Splitter och annat kan vid stora explosioner orsaka skador på uppemot 700 m [14].
2	Gaser	Inerta gaser (kväve, argon etc.) oxiderande gaser (syre, ozon, etc.), brandfarliga gaser (acetylen, gasol etc.) och giftiga gaser (klor, svaveldioxid etc.).	Förgiftning, brännskador och i vissa fall tryckpåverkan till följd av giftigt gasmoln, jetflamma, gasmolnsexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden över 100-tals m. Omkomna både inomhus och utomhus.
3	Brandfarliga vätskor	Bensin och diesel (majoriteten av klass 3) transporteras i tankar som rymmer maximalt 50 ton.	Brännskador och rökskador till följd av pölbrand, värmestrålning eller giftig rök. Konsekvensområden för brännskador utbreder sig vanligtvis inte mer än omkring 30-40 m från en pöl. Rök kan spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror

KONCEPTRAPPORT

RID-S/ ADR-S Klass	Kategori	Beskrivning	Konsekvenser
			på vägutformning, underlagsmaterial och diken etc.
4	Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver), karbid och vit fosfor.	Brand, strålning och giftig rök. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan.
5	Oxiderande ämnen, organiska peroxider	Natriumklorat, väteperoxider och kaliumklorat.	Tryckpåverkan och brännskador. Självantändning, explosionsartat brandförlopp om väteperoxidlösningar med koncentrationer > 60 % eller organiska peroxider som kommer i kontakt med brännbart organiskt material. Konsekvensområden för tryckvågor kan motsvara dem för ADR-S/RID-S-klass 1.
6	Giftiga ämnen, smittförande ämnen	Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, bekämpningsmedel, etc.	Giftigt utsläpp. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet.
7	Radioaktiva ämnen	Medicinska preparat. Vanligtvis små mängder.	Utsläpp radioaktivt ämne, kroniska effekter, mm. Konsekvenserna begränsas till närområdet.
8	Frätande ämnen	Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid (lut). Transporteras vanligtvis som bulkvara.	Utsläpp av frätande ämne. Dödliga konsekvenser begränsade till närområdet [15]. Personskador kan uppkomma på längre avstånd.
9	Övriga farliga ämnen och föremål	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Utsläpp. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet.

Utifrån beskrivningarna i Tabell 1 samt statistik över transporterade mängder bedöms följande farligt gods-kategorier vara relevanta för den fortsatta riskanalysen; klass 1, 2, 3 och 5. Övriga klasser transporteras i begränsad mängd, eller bedöms inte ge signifikanta konsekvenser förutom i olycksfordonets omedelbara närhet.

4.1.1 Transport av farligt gods på Hamnbanan

Aktuell del av Hamnbanan utgörs av enkelspår med en maximalhastighet av 40km/h. Vid horisontår 2030 förväntas Hamnbanan trafikeras av ungefär 87 godståg per dygn [2]. Ca 5 % av det transporterade godset antas utgöras av farligt gods. Ingen persontrafik förekommer på banan.

4.1.2 Transport av farligt gods på Göta älv

Enligt tidigare utredningar har det framkommit att ca 1800 bulkfartyg går årligen på Göta älv. Av dessa är ca 10 % farligt gods-transporter, lastade med 2500 ton vardera [16]. Transporterna omfattar nästan uteslutande brandfarlig vätska (klass 3).

4.2 Drivmedelsstationer

Linbanans korridor passerar över en drivmedelstation (OKQ8) belägen vid korsningen mellan Hjalmar Brantingsgatan och Inlandsgatan. Station Wieselgrensplatsen är placerad ca 120 m från drivmedelsstationen, enligt Figur 2 i avsnitt 2.2.5. Dessutom finns ytterligare två närliggande drivmedelstationer (Ingo och OKQ8) öster om linbanans sträckning, se Figur 1.

Det förutsätts att drivmedelsstationerna omfattar vanliga tankstationer utan cisterner ovan mark eller gastankstationer. Därmed utgör en pölbrand i samband med utsläpp av brandfarlig vätska från tankbil den största risken.

4.3 Rosenlundsverket

I Figur 5 framgår att avstånd mellan linbanan och Rosenlundsverket uppgår till ca 195 meter. I en tidigare riskanalys för Rosenlundsverket har konsekvensavstånd av identifierade skadehändelser (bränder i gasformiga bränslen samt turbinkast) inom Rosenlundsverket uppskattats [17]. För beräknade scenarier är turbinkast det scenario med längst konsekvensavstånd (ca 150 m). Turbinerna är dock inte i drift och det är inte säkert om de kommer att tas i bruk igen. För övriga identifierade scenarier är det längsta avståndet ca 23 meter. Avståndet 195 meter till station och linbanor, i enlighet med Figur 5 bedöms därmed tillräckligt.

4.4 Götatunnelns mynning

Linbanestation Järntorget planeras i närhet till Götatunnelns mynning. Götatunneln är klassificerad som kategori E, vilket innebär ett förbud mot transporter med farligt gods. Dock kan tunga fordon såsom lastbilar och bussar ge brandförlopp med höga temperaturer.

Fordon som brinner nära tunnelmynningen motsvarar bränder på transportvägar i övrigt. Vid brand i tunneln kan dock en plym med brandgaser ansamlas och slå ut ur tunneln. Vid en brand i tunneln så kommer dock linbanan vara relativt skyddad avseende strålningspåverkan, och uppvärmning kommer endast ske på grund av värmeöverföring via varma brandgaser. Scenariot med en brand i tunneln bedöms därmed vara underordnat scenariot med fri brand i fordon utanför tunneln, då en sådan brand kan vara placerad direkt under linbanan. Då en brand direkt under linbanan bedöms värre avseende värmepåverkan på linbanan än en brand i tunneln så utreds ej scenariot med brand i tunnel vidare.

4.5 Stenas Danmarksterminal

Station Järntorget samt linor är placerade med viss närhet till Stenas Danmarksterminal. Inom Danmarksterminalen förekommer transport av farligt gods vid lastning/lossning i samband med att lastbilar (vissa lastade med farligt gods) kör på och av färjorna. På färjorna förekommer vissa restriktioner tillhörande kategorier som potentiellt kan medföra de största och allvarligaste konsekvenserna. De klasser som är förbjudna på Stena Nordica är massexplosiver (klass 1.1), brandfarliga gaser (klass 2.1), organiska peroxider (klass 5.2) samt radioaktiva ämnen (klass 7) [18]. Det innebär att det värsta scenario som kan tänkas inträffa är läckage av brandfarlig vätska som leder till pölbrand.

4.6 Brand i fastighet

Brand i fastighet kan medföra strålningspåverkan på linor och gondoler. Riskanalysen kommer vidare endast att omfatta fastigheter med bostads- och kontorsverksamhet.

4.6.1 Lagerverksamhet

Lagerverksamhet kommer inte att utredas specifikt. Detta eftersom konsekvenser av brand i lagerlokal är beroende av vad som lagras, något som snabbt kan ändras över tid. Att t.ex. brandfarlig eller explosiv vara hanteras i lagerlokaler kan inte uteslutas, och konsekvenserna av en brand eller explosion beror då till stor del på byggnadens brandskydd. På grund av osäkerheten kring hanteringen i lagerlokaler har dessa ej bedömts avseende konsekvensområden. Förutsatt att hantering av brandfarlig vara sker enligt de lagar och föreskrifter som finns ska dock inte större mängder kunna hanteras utan att de är placerade i ett brandavskilt utrymme, vilket begränsar konsekvenserna av en

brand. Med avseende på detta samt att lagerlokaler ofta är utförda i ett plan bör en brand begränsas och motsvara den brand som kan erhållas från kontors- och bostadsfastigheter i flera våningar.

De konsekvensområden som beräknas för höga kontors- och bostadsfastigheter bedöms även kunna gälla för lagerlokaler förutsatt att följande uppfylls:

- eventuell hantering av brandfarlig och explosiv vara följer de lagar och förordningar som finns
- lokalerna uppfyller krav på brandteknisk avskiljning enligt Boverkets Byggregler.
- att det inte är en hög brandbelastning eller mycket eldfängt material som lagras
- att lagerlokalen är utförd i ett plan

För lagerlokaler där brandbelastningen är hög, det är mycket eldfängt material som lagras, där byggnaden är utförd i flera plan eller där utförandet/lagringen på annat sätt skiljer sig mot normal hantering bör en riskanalys för det specifika fallet utföras.

4.7 Fordonsbrand

Linbanan passerar över transportleder som inte utgör rekommenderad väg för farligt gods. På dessa transportleder kan dock fordonsbränder uppkomma vilka kan påverka linbana och gondoler via strålningsexponering.

4.8 Sammanställning av riskscenarier

I Figur 6 nedan visas linbanans planerade sträckning samt sammanfattar primära riskkällor som finns i dess närområde. Utifrån riskinventeringen har ett antal riskscenarier tagits fram, se Tabell 2 och Tabell 3.

För mer ingående beskrivningar av respektive beräkningsscenario hänvisas till bilaga A.



Figur 6. Sammanfattning av riskkällor i linbanans sträckning.

KONCEPTRAPPORT**Tabell 2. Sammanfattning av riskscenarier**

Farligt gods		
Objekt	Risk	Åtgärd
Göta Älv	Nästan uteslutande brandfarlig vätska klass 3.	Utreds vidare (Scenario 1 och 2)
Lundbyleden	Nästan uteslutande brandfarlig vätska klass 3.	Utreds vidare (Scenario 1 och 2)
Hamnbanan	Alla typer av farligt gods.	Utreds vidare (Scenario 1,4,5,6,7)
Drivmedelstationer		
Objekt	Risk	Åtgärd
Drivmedelsstationer	Vanliga drivmedelsstationer utan cisterner ovan mark förutsätts. Inga gastankstationer. Läckande tankbil största risken.	Utreds vidare (Scenario 1)
Fastigheter		
Objekt	Risk	Åtgärd
Bostads- och kontorsfastigheter	Brand.	Utreds vidare (Scenario 3)
Övrigt		
Objekt	Risk	Åtgärd
Götatunnelns mynning	Inget farligt gods. Brand i fordon.	Utreds vidare (Scenario 2)
Rosenlundsverket	Avstånd till planerad sträckning av linbana anses vara tillräckligt.	Utreds ej vidare
Danmarksterminalen	Farligt gods-olycka vid läckage från båtar/tankbilar.	Utreds vidare (Scenario 1 och 2)
Transportvägar (ej farligt gods)	Brand i fordon.	Utreds vidare (Scenario 2)

KONCEPTRAPPORT**Tabell 3. Sammanfattning och benämning av scenarier för fortsatta konsekvensberäkningar.**

Scenario	Händelse	Beräknade konsekvensavstånd	Aktuellt vid *
1	Pölbrand Tankbil eller järnvägstank rämningar	Konsekvensavstånd beräknas endast i vertikalled. Detta då riktlinjer avseende säkerhetsavstånd i horisontalled från farligt gods-leder redan finns.	A, B
2	Brand i fordon	Konsekvensavstånd beräknas endast i vertikalled. Detta då linbanan ej kommer att passera lågt längs med en väg.	A, D
3	Brand i fastighet	Konsekvensavstånd beräknas i vertikalled och horisontalled. Detta då byggnader kan vara så höga att linbanan kan passera bredvid dessa.	C
4	Explosion	Sfäriskt konsekvensavstånd	A (Hamnbanan)
5	Gasmolnsexplosion	Sfäriskt konsekvensavstånd	A (Hamnbanan)
6	BLEVE	Sfäriskt konsekvensavstånd	A (Hamnbanan)
7	Jetflamma	Konsekvensavstånd beräknas endast i vertikalled. Detta då linbanan ej kommer att passera lågt längs med en väg/järnväg.	A (Hamnbanan)

* A= Farligt gods-leder,
 B= Drivmedelsanläggning,
 C= Kontors- och bostadsfastigheter,
 D= Transportleder (ej farligt gods)

5 Resultat

I

Tabell 4 nedan presenteras vertikala säkerhetsavstånd för respektive riskkälla utmed linbanans sträckning. I kolumn fyra redovisas säkerhetsavstånd då systemet är i drift, dvs. gondolerna förutsätts kunna transporteras till närmsta linbanestation utan stopp. I kolumn fem redovisas säkerhetsavstånd då systemet är ur funktion, dvs. en gondol kan vara stillastående ovanför ett olycksscenario. Observera att för bostads-/kontorsfastigheter presenteras även säkerhetsavstånd i horisontalled.

Säkerhetsavstånden är baserade på det mest konservativa utfallet som respektive riskkälla kan ge upphov till. För presentation och beskrivning av samtliga beräknade säkerhetsavstånd hänvisas till bilaga A.

Tabell 4. Säkerhetsavstånd presenterade för respektive riskkälla då systemet är i drift respektive stillastående.

Riskkälla	Händelse	Säkerhetsavstånd till linor (m)	Säkerhetsavstånd till gondoler vid system i drift (m)	Säkerhetsavstånd till gondoler vid stillastående system (m)
Drivmedelsstationer Lundbyleden	Pölbrand	55	58	84
Vägar (utan förekomst av farligt gods)	Brand i fordon	29	28	48
Bostads-/kontorsfastigheter och vissa lagerlokaler*	Brand i byggnad	32 (mätt från tak) horisontellt: 21	25 (mätt från tak) horisontellt: 17	58 (mätt från tak) horisontellt: 41
Hamnbanan	Explosion	250	250	250
Danmarksterminalen Göta Älv	Pölbrand	55	58	84

* För lagerlokaler med mer än ringa hantering av brandfarliga och explosiva varor, stora lagerlokaler, lagerlokaler med hög brandbelastning eller lagerlokaler i fler än ett plan bör risker och behov av säkerhetsavstånd studeras separat.

6 Diskussion

Av resultatet ovan kan man se att säkerhetsavstånd med avseende på personsäkerhet vid stillastående system är betydligt längre än avstånd för personsäkerhet för system i drift. Detta är bland annat till följd av ett konservativt satt kriterium för beräkningen av personsäkerhet vid stillastående system.

En strålning på 2 kW/m^2 nyttjas som kriterium för personsäkerheten vid stillastående gondoler. Vid beräkning av strålning mot personer har inte det faktum att gondolerna kommer att ge ett visst strålningsskydd, i form av golv och väggar, beaktats. Det innebär att personer inte kommer att utsättas för direkt strålningspåverkan från brand. Till exempel kan det nämnas att om temperaturen utanför gondolerna är 200 °C innebär det en temperatur på 90 °C inuti gondolerna och temperaturen har alltså mer än halverats.

I detta inledande skede görs konsekvensbaserade bedömningar för att få en uppfattning om vilka konsekvensavstånd olycksscenarierna genererar. Det innebär att inga sannolikheter beaktats i detta skede, vilket medför att de konsekvensbaserade förslagen till säkerhetsavstånden i vissa fall kan anses långa. Det är därför viktigt att avstånden presenterade i denna rapport endast ses som riktlinjer.

7 Förslag på fortsatt arbete

Aktuell rapport omfattar förslag till säkerhetsavstånd baserat på konsekvenser av identifierade scenarier. Förslag till att utöka riskanalysen är att även omfatta sannolikhets- och/eller frekvensbedömningar av identifierade scenarier, sammanvägd risknivå, riskvärdering samt vid behov förslag på ytterligare riskreducerande åtgärder. En sådan utökning skulle förslagsvis kunna innehålla följande moment:

- Sannolikhetsbedömningar/frekvensbedömningar av identifierade scenarier.
- Sammanvägning av frekvenser och konsekvenser i ett gemensamt riskmått (t.ex. individrisk, där den kumulativa frekvensen av identifierade scenarier vägs samman med avstånd till kritiska förhållanden).
- Riskvärdering gentemot lämpliga riskvärderingskriterier (avgörs i samråd med beställaren och räddningstjänsten).
- Vid behov förslag på riskreducerande åtgärder utöver enbart säkerhetsavstånd (kan även innefatta åtgärder avseende linor och/eller åtgärder för underliggande bebyggelse).
- Resonemang avseende föreslagna åtgärders effekt.

Ytterligare ett förslag till utökning av analysarbetet är att även inkludera andra möjliga skadehändelser än enbart brand och explosion. Spridning av giftiga gaser är exempel på en sådan skadehändelse.

8 Slutsatser

Riktlinjer för säkerhetsavstånd har tagits fram vilka baseras på beräkningar av konsekvensavstånd för identifierade riskscenarion. Denna typ av konservativa säkerhetsavstånd tar utgångspunkt i att riskpåverkan från riskkällan skall vara noll. I kapitel 5 redovisas säkerhetsavstånden. Notera att för lagerlokaler med mer än ringa hantering av brandfarliga och explosiva varor, stora lagerlokaler, lagerlokaler med hög brandbelastning eller lagerlokaler i fler än ett plan bör risker och behov av säkerhetsavstånd studeras separat.

Säkerhetsavstånden blir i många fall långa vilket kan medföra att de är praktiskt svåra att tillämpa. Därmed bör vidare utredning utföras där hänsyn även tas till sannolikhet/frekvens för olycksscenarierna. Då kan i stället säkerhetsavstånd som maximalt medför en viss acceptabel risknivå tas fram. Sådana avstånd blir i regel kortare samtidigt som viss riskpåverkan accepteras, vilket ofta är en nödvändig avvägning i samhällsplanering. Innan en sådan avvägning gjorts är det därför viktigt att de presenterade avstånden i denna rapport ses som konservativa riktlinjer och en identifiering av de riskkällor som har så långa säkerhetsavstånd att de påverkar anläggningen och behöver utredas vidare.

Bilaga A. Konsekvensberäkningar

A.1. Inledning/förutsättningar

Nedan redovisas de konsekvensberäkningar som har utförts. Linbanan kommer bestå av ett ”draglina” som drar gondolerna framåt, samt två ”stödlinor” som nyttjas för att stabilisera gondolerna. Enligt erhållen information får varken draglinan eller stöddlinorna gå av, då ingen lina själv klarar att bära upp gondolerna. Därmed utgår beräkningarna från att ingen lina får gå av. Följande info har erhållits angående draglinan och gondolerna [5]:

A.1.1 Erhållen ingångsdata

A.1.1.1. Stödlinor

- Tvärsnittsytta: 809 mm² (motsvarar en diameter på ca 32 mm)
- Massa: 7,29 kg/m
- Kritisk temperatur: 400°C
- Material: Stål

A.1.1.2. Draglina

- Tvärsnittsytta: 2094 mm² (motsvarar en diameter på ca 51 mm)
- Massa: 17,40 kg/m
- Kritisk temperatur: 400°C
- Material: Stål

A.1.1.3. Gondoler

- Material: Aluminiumprofiler, väggar av glas, tak och golv av sandwich-paneler bestående av aluminium.
- Kritisk temperatur: 200°C (motsvarar att temperaturen inne i gondolerna ej överstiger 90°C. Enligt uppgift [5] är inte temperaturen avseende bärighet/smältpunkt dimensionerande).

A.1.2 Generella antaganden

- Flammhöjden är ej konstant utan fluktuerar. I aktuella beräkningar antas den dock vara konstant. Detta ger konservativa beräkningar.
- Vid beräkningen av synfaktorn antas att branden är rektangulär så att flammans diameter är lika stor i toppen som i botten. Detta är ett konservativt antagande då branden i själva verket normalt smalnar av väsentligt upptill.
- Beräkningar har gjorts för flammans mitt vilket är ett konservativt tillvägagångssätt då synfaktorn är som störst där.
- Den avgivna strålningen från samtliga bränder antas vara konstanta. Detta är konservativt då effektutvecklingen generellt har en tillväxtperiod och en avsvagningsperiod.

A.2. Beräkningar

Beräkningarna av den värmestrålning som det analyserade området utsätts för i händelse av olycka med påföljande brand har genomförts enligt följande:

- Beräkning/fastställande av vilken infallande strålning som kan träffa linbanan (kablar + gondoler) utan att kritisk temperatur/strålning överstigs.
- Beräkning av flammans höjd
- Beräkning av utfallande strålning
- Beräkning av vilket synfaktor, och därmed även avstånd, som krävs för att kritisk infallande strålning ej ska överstigas.

Strålningsberäkningarna har genomförts med hjälp av handberäkningar. De formler som använts är baserade på den forskning på brandområdet som bedrivits under lång tid. Använda formler och samband är etablerade och har använts under många år vid beräkning av olika typer av brandförlopp.

A.2.1 Säkerhetskriterier

Enligt erhållen information [5] får linorna inte värmas upp till över 400°C. Detta då hållfastheten ej kan garanteras om 400 °C överskrids.

För gondolerna finns inga tydliga kriterier. Det avstånd inom vilket personer förväntas omkomma direkt antas vara där värmestrålningsnivån överstiger 15 kW/m². Det är en strålningsnivå som orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering (cirka 2-3 sekunder) samt den strålningsnivå som bör understigas i minst 30 minuter utan att särskilda åtgärder vidtas i form av brandklassad fasad [10] [11]. Detta är den strålningsnivå som gondolerna förutsätts kunna utsättas för utan att systemet fallerar.

Den strålning som personer kan utsättas för, under en obegränsat lång tid, utan att få skador är 1 kW/m² [6]. För bestrålning under 1 min går gränsen vid ca 2 kW/m² och för bestrålning under 2 s ca 20 kW/m² [19]. Avseende utrymningsdimensionering från byggnader accepteras dock att personer utsätts för en värmestrålning om 2,5 kW/m² [8]. I aktuellt fall kommer personer i gondolerna erhålla ett visst strålningsskydd i form av gondolernas golv och väggar. Effekten av dessa har dock ej utretts, men personer kommer inte att utsättas för en direkt strålningspåverkan från branden. T.ex. kan nämnas att en temperatur på 200°C utanför gondolerna medför en temperatur om 90°C i gondolerna [5]. En strålning på 2 kW/m² nyttjas som kriterium för att klara personsäkerheten, detta kan dock ses som konservativt då gondolerna som sagt kommer utgöra ett strålningsskydd. Innan dess verkan har utretts nyttjas dock 2 kW/m² för konservativa beräkningar.

Kriterier enligt nedanstående avsnitt nyttjas således.

A.2.1.1. System i drift

Linornas temperatur får ej överstiga 400 °C. Den tid som linorna inte ska överstiga 400°C beror på valt scenario och hur länge aktuell brand kan förväntas pågå.

Då systemet är i drift, d.v.s. gondolerna kommer passera ovan branden men ej stå still över dem, vilket medför att de endast utsätts för en kortvarig strålning, så får strålningen mot gondolerna ej överstiga 15 kW/m².

Det kan nämnas att då systemet är i drift så tar sträckan Järntorget-Lindholmen på ca 1200 m ca 3,5 min (hastighet 6 m/s) [12].

A.2.1.2. System ur funktion

Om systemet är ur funktion kan en gondol bli stillastående över en brand. I detta fall är säkerhetskriterium för linorna densamma som då systemet är i drift, d.v.s. temperaturen får ej överstiga 400°C.

Avseende gondolerna så ska strålningen mot dessa ej överstiga 2,0 kW/m² då systemet är ur funktion.

A.2.2 Yttemperatur på linor

Temperaturutvecklingen i stålet i linorna beräknas enligt metod i Eurocodes [20]:

$$T_s = T_i + k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_p \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t$$

där

A_m/V =sektionsfaktorn för oskyddat ståltvärsnitt (1/m). För cylinder =1 /godstjocklek.

(Stödlina: 1/0,032=31,25, Draglina: 1/0,051=19,6)

k_{sh} =korrektionsfaktorn för skuggeffekter. För cirkulära tvärsnitt har skuggeffekten ingen betydelse varvid den sätts till 1. Detta ger även resultat på den säkra sidan.

c_p = Specifik värmekapacitet för stål = 600 J/kg°C

ρ_a = Densiteten för stål= 7850 kg/m³ (Baserat på linornas massa samt tvärsnittsytan bör linornas densitet ligga mellan 8300-9000 kg/m³, för konservativa beräkningar används dock generellt värde för stål)

$$\dot{h}_{net} = q_r - q_{ut} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

q_r = infallande strålning från flamman (W/m²)

$$q_{ut} = \text{Utstrålad värmeenergi från stålet (W/m}^2\text{)} = T_s^4 \cdot \varepsilon \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}$$

Δt = Tidsintervall (s)

ε = Emissivitet för stål =0,67

I beräkningarna tas ej hänsyn till konvektionsförluster.

Beräkningar visar att stödlinorna värms upp snabbare än draglinan. Därmed blir stödlinorna dimensionerande. Exempel på vilken konstant strålning som ej ska överskridas beroende på exponeringstid redovisas i Tabell 5.

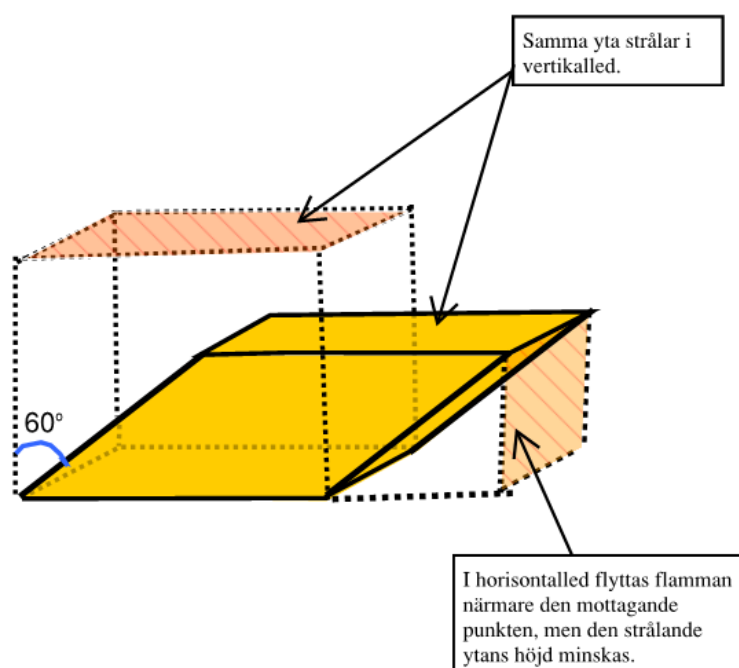
Tabell 5. Kritisk strålning för stödlinor beroende på exponeringstid.

Tid som linorna utsätts för branden.	Konstant infallande strålning som ej får överskridas mot stödlina.
60 min	18 kW/m ²
90 min	14 kW/m ²
120 min	11 kW/m ²

A.2.3 Vindpåverkan

Luftrörelser ökar i allmänhet inblandningen av luft i flammen, vilket ökar förbränningen inuti den. Därmed reduceras flammans höjd. Experiment har visat att temperaturen i flammen ökar med ökad vindhastighet. Däremot minskar emissionen på grund av ökad förbränning (mindre sotbildning i flammen). Strålningen i flammen är därför i det närmaste konstant och oberoende av flammans vinkel vid vindhastigheter upp till 5 m/s. Vid bränder i det fria kan även måttliga vindhastigheter orsaka att flammen lutar i vindriktningen. Vid en vindhastighet upp mot 2 m/s kommer flammen luta upp mot en vinkel av 45°, och vid vindhastigheter upp mot 5 m/s blir vinkeln ca 60° [21]. Vid ännu högre vindhastigheter kommer flammen i det närmaste vara horisontell.

En lutning av flammen med 60° innebär att den strålade ytan kommer flyttas i horisontalled och flamtoppen kommer att komma närmare marken (den strålade ytans höjd minskar). Den strålade ytan i vertikalalled kommer dock förbli densamma, men hamna närmare marken, se Figur 7. Vid beräkningar i vertikalalled bedöms därmed inte vindpåverkan medföra en utökad strålningsnivå mot linbanan. Vid beräkningar i vertikalalled kommer således beräkningar vid vindpåverkan ej utföras. Vid beräkningar i horisontalled bör dock vindpåverkan beaktas.



Figur 7. Vid upp mot 5 m/s kan flammen luta upp mot 60°. Detta påverkar den strålade ytan i horisontalled, men ej i vertikalalled. OBS! Bilden är en grov principskiss varvid proportioner ej stämmer.

A.3. Scenario 1 (Pölbrand)

En tankbil/järnvägstank innehåller ca 45 kbm bensen. En tankbil/järnvägstank är ofta indelad i mindre fack. Värsta scenariot är dock att allt rinner ut. Läckaget kan sedan resultera i en pölbrand. De pölstorlekar som antas kunna bildas vid läckage av brandfarlig vätska har för olycka på väg/järnväg antagits till 50 m² (*litet*), 200 m² (*mellanstort*) respektive 300-400 m² (*stort*). Oftast medger inte t.ex. vägbanan större utbredning innan diken, kantsten, dagvattenbrunnar, gräsytor etc. förhindrar större utbredning. För ett läckage vid Hamnbanan kan en stor pölbrand anses vara konservativ då järnvägsbanken består av makadam, vilket försvårar bildandet av pölar. Vid olycka på väg är det dock mer sannolikt med en större pölbrand. För konservativa beräkningar kommer endast beräkningar för en stor pölbrand utföras.

I scenario 1 beräknas därmed vilket vertikalt säkerhetsavstånd som krävs från en pölbrand à 400 m². Horisontellt säkerhetsavstånd beräknas ej då det redan finns generella säkerhetsavstånd från farligt gods-leder och drivmedelsstationer framtagna.

All brandfarlig vätska (bensen, diesel och E85) antas i beräkningarna utgöras av bensen, vilket bedöms vara konservativt.

A.3.1 Tid

Bensen har en förbränningshastighet på 0,048 kg/m²s. Förutsatt en 400 m² stor brand, att det är 45 m³ som har läckt ut (en tankbil/järnvägstank) och att bensen har en densitet om 740 kg/m³ [19], innebär detta att mängden bensen brinner av med 19,2 kg/s. Det skulle således ta ca 30 min innan bränslet för branden är slut.

För konservativa beräkningar antas dock branden kunna påverka linbanan under en timme.

A.3.2 Beräkning av flammans höjd

I aktuellt scenario ansätts en pölbrand (bensen) med en area om ca 400 m². Detta medför en pöldiameter om ca 23 m. Vid en pölbrand med cirkulär pöl kan flammans geometri approximeras med en cylinder där flammans diameter är lika stor som pölens diameter, varvid flammans höjd kan beräknas enligt [19]:

$$h_f = d_p \cdot 42 \cdot \left(\frac{b'}{\rho_a \sqrt{g \cdot d_p}} \right)^{0,61}$$

där

h_f = flamhöjden (m) = beräknad till 24,5 m

d_p = pöldiameter (m) = antagen till 22,6 m

b' = förbränningshastigheten per ytenhet (kg/m²s) = 0,048 kg/m²s (bensen)

ρ_a = luftens densitet = 1,29 kg/m³

g = tyngdaccelerationen = 9,81 m/s²

A.3.3 Utfallande strålning

Det finns flera olika modeller för att beräkna strålning från flaman. Beroende på val av modell kan stora skillnader i resultat erhållas. För att se skillnader i resultat görs beräkningar för två olika modeller som presenteras nedan. Den ena tenderar att ge mer konservativa resultat.

A.3.3.1. Beräkning av strålning från flaman via metod i FOA Handbok

Strålningen från flaman beräknas enligt [19]:

$$P = \frac{0,35 \cdot b' \cdot h_c}{1 + 4 \cdot \frac{h_f}{d_p}}$$

där

h_c = energivärde (J/kg). Energivärdet för bensin är ca 44,7 MJ/kg [19]

Branden avger således följande strålning:

$$P = \frac{0,35 \cdot 0,048 \cdot 44,7 \cdot 10^6}{1 + 4 \cdot \frac{24,5}{22,57}} = 140,5 \text{ kW/m}^2$$

Den avgivna strålningen antas vara konstant. Detta bedöms rimligt då pölbränder brinner med en relativt konstant effekt.

Ovanstående modell tenderar att vara konservativ och överskatta strålningen något.

A.3.3.2. Beräkning av strålning från flaman via metod i SFPE

Exempel på en annan modell är en av Mudan [22] som bygger på verkliga försök:

$$P = 140 \cdot e^{(-0,12 \cdot Dp)} + 20 \cdot (1 - e^{(-0,12 \cdot Dp)})$$

där

d_p = Brandens diameter = 22,57 m

Branden avger således följande strålning:

$$P = 140 \cdot e^{(-0,12 \cdot 22,57)} + 20 \cdot (1 - e^{(-0,12 \cdot 22,57)}) = 28 \text{ kW/m}^2$$

Den utfallande strålningen skiljer sig mycket från modellen från FOA. För mycket stora bränder kan dock kall sot som omsluter flammorna reducera den avgivna strålningen avsevärt [23], vilket tas hänsyn till i denna modell. För konservativa beräkningar kommer dock beräkningsmetoden enligt FOA att nyttjas.

A.3.4 Synfaktor/Infallande strålning

Den infallande strålningen som når linbanan (kablar och gondoler) kan beräknas genom:

$$q_r'' = F \cdot P$$

där

$$q_r'' = \text{Infallande strålning (kW/m}^2\text{)}$$

F = Synfaktor

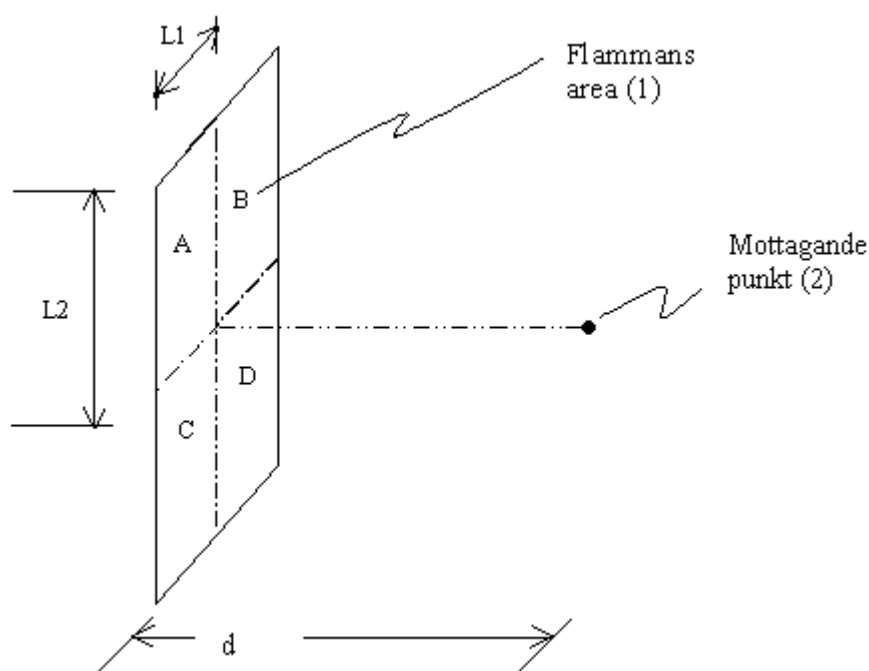
P = Strålning från flaman (kW/m²)

KONCEPTRAPPORT

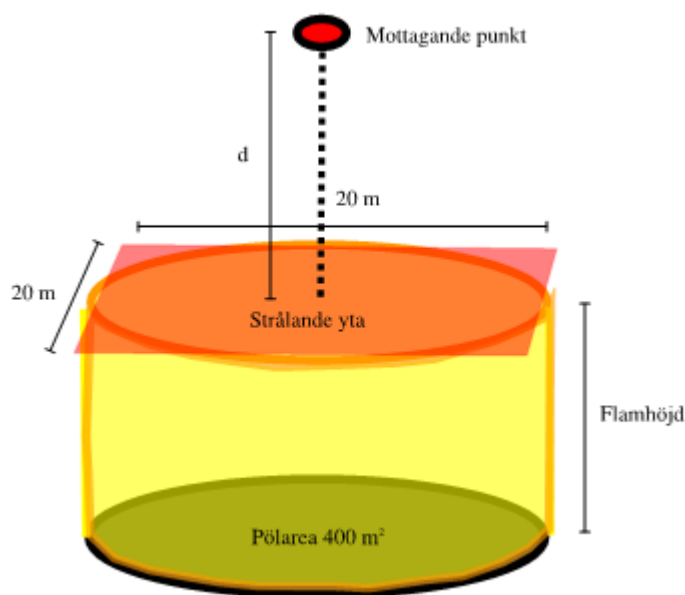
Den avgivna strålningen från branden är $140,5 \text{ kW/m}^2$. Enligt avsnitt A.3.1 och A.2.2 får inte den infallande strålningen mot linorna överstiga 18 kW/m^2 och mot gondolerna 15 kW/m^2 då systemet är i funktion, samt ej överstiga 2 kW/m^2 mot gondolerna då systemet är ur funktion. Utifrån detta får synfaktorn inte överstiga 0,128 mot stömlinorna och 0,107 respektive 0,0142 mot gondolerna. Då synfaktorn beror på avståndet mellan brand och mottagande punkt kan därmed ett riskavstånd bestämmas.

Synfaktorn, F , anger hur stor andel av den emitterade strålningen som når den mottagande punkten eller ytan, se Figur 8. Vid beräkningen av synfaktorn antas att branden är rektangulär så att flammans diameter är lika stor i toppen som i botten. Detta är ett konservativt antagande då branden i själva verket normalt smalnar av väsentligt upptill. Beräkningar har gjorts för flammans mitt vilket är ett konservativt tillvägagångssätt då synfaktorn är som störst där.

I aktuellt fall utgör toppen av flammen den strålande ytan, se Figur 9. Den strålande ytans area approximeras med en kvadrat med samma area som pölbranden (400 m^2), dvs. med sidan 20 m. $L1$ och $L2$ blir då halva sidans längd, dvs. 10 m.



Figur 8. Synfaktor.



Figur 9. Den strålade ytan approximeras med en kvadrat.

Synfaktorn $F_{1,2}$ mellan flammen och den mottagande punkten är en geometrisk konstruktion som beräknas enligt [6]:

$$F_{1,2} = F_{A1,2} + F_{B1,2} + F_{C1,2} + F_{D1,2}$$

där $F_{A1,2}$ beräknas enligt följande:

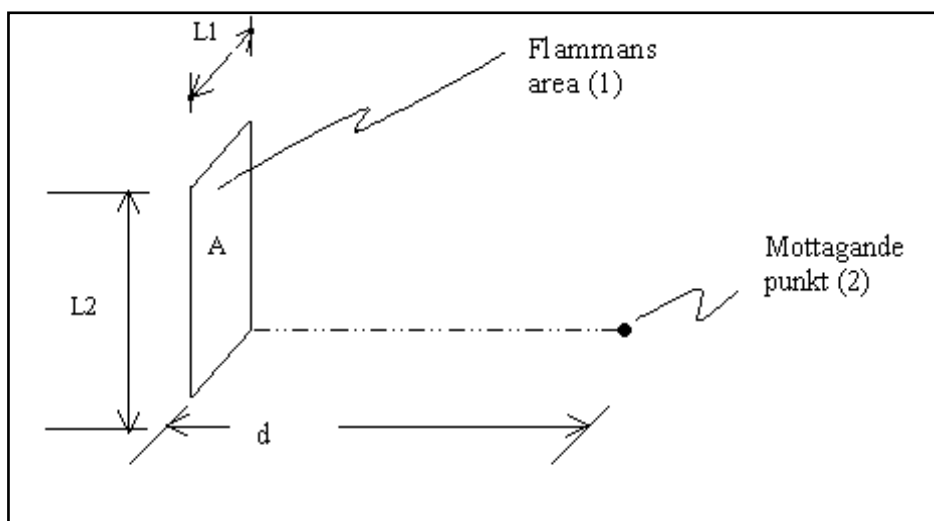
$$F_{A1,2} = \int_0^{A_1} \frac{\cos \Theta_1 \cos \Theta_2}{\pi d^2} \cdot dA_1$$

där θ_1 och θ_2 är infallande vinkel, dvs. 0, och $F_{B1,2}$, $F_{C1,2}$ och $F_{D1,2}$ beräknas på samma sätt för dess mått där $A_1 = L_1 \times L_2$, enligt Figur 8, för beräkning av respektive ytas synfaktor används följande ekvation [24]:

$$F_{A12} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right)$$

där

$$X = \frac{L_1}{d} \quad \text{och} \quad Y = \frac{L_2}{d} \quad \text{enligt Figur 10.}$$



Figur 10. Synfaktor.

Beräkningar av synfaktorn enligt metod ovan, som tar hänsyn till flammans längd och bredd samt flammans avstånd till linorna/gondolen, visar att avståndet mellan brand (flammans topp) och linorna ska vara minst 30 m och avståndet mot gondolerna ska vara minst 33 m respektive 59 m. Då flammhöjden är 24,5 m innebär detta ett vertikalt riskavstånd på 55 m, 58 m respektive 84 m från väg/mark.

A.3.5 Vindpåverkan

Då beräkningar endast utförs i vertikalled studeras detta ej vidare, se avsnitt A.2.3.

A.3.6 Resultat

Det vertikala avståndet mellan en farligt gods-led/drivmedelsanläggning och linbanans linor/gondoler redovisas i Tabell 6.

Tabell 6. Beräknade avstånd från pölbrand till gondoler/linor.

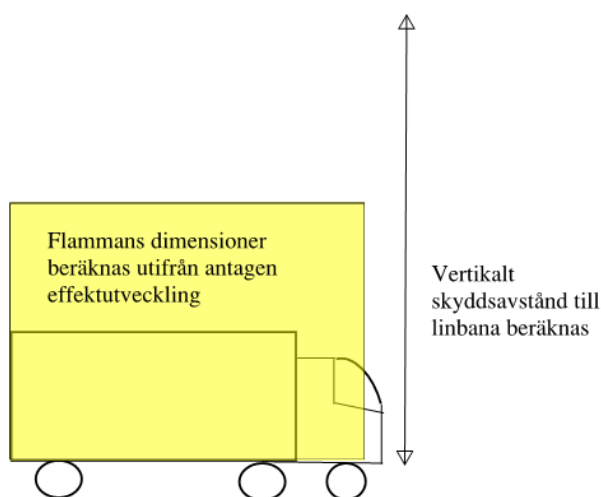
	Avstånd från flammans topp (m)	Avstånd från väg/mark (m)
Stödlinor <400°C under 1 timme	30	55
Gondoler <15 kW/m ²	33	58
Gondoler <2 kW/m ²	59	84

A.4. Scenario 2: Brand i fordon

Ovan vägar, där transport av farligt gods ej sker, bedöms en fordonsbrand motsvara det dimensionerande scenariot.

Nya bränslen såsom E85 och olika gaser har inte samma brand- och explosionsegenskaper som bensin. Beräkningarna kommer dock baseras på den litteratur som finns kring den effektutveckling som fordonsbränder kan ge.

Utifrån antagen effektutveckling beräknas flammans geometri och därefter vertikalt säkerhetsavstånd till linbanan, se Figur 11.



Figur 11. Brand i fordon (ej farligt gods)

A.4.1 Effektutveckling

I *Initial Fires* [25], där brandeffekten för olika objekt utretts, anges att en personbil medför en effektutveckling på ca 2 MW. Även innanmätet på en buss testades med motsvarande resultat. Vid test av en spårvagn uppskattades dock effektutvecklingen till ca 14 MW [25]. Spårvagn M32 (den senaste) har i en nyligen gjord analys en beräknad effektutveckling på ca 25 MW [26].

I

Tabell 7 ses en sammanställning av brandeffekter uppmätta i fullskaleförsök med enskilda fordon både inne i en tunnel och utanför [27]. Den stora spridningen för långtradare beror på den enorma variation som kan finnas i lasten på en långtradare. Exempel på laster och vilken effekt de medförde ses i Tabell 8.

Tabell 7. Uppmätt maxeffekt för olika fordonstyper [27].

Fordon	Högsta brandeffekt (MW)
1-3 personbilar	1,5-10
Buss	29-30
Långtradare	13-203

Tabell 8. Uppmätt maxeffekt för olika långtradarlaster [27].

Långtradarlast	Högsta brandeffekt (MW)
10,9 ton trä (82 %) och plastpallar (18 %)	203 MW
6,8 ton träpallar (82 %) och PUR-madrasser (18 %)	158 MW
8,5 ton möbler, tillbehör och gummidäck	125 MW
Långtradarlast med totalt 2,8 ton wellpappkartonger (81%) med plastmuggar (19%)	70,5 MW
Långtradarlast med 72 träpallar	26 MW

För vägtunnlar har SP gett följande förslag på dimensionerande scenarion (för utrymningssäkerheten) [28]:

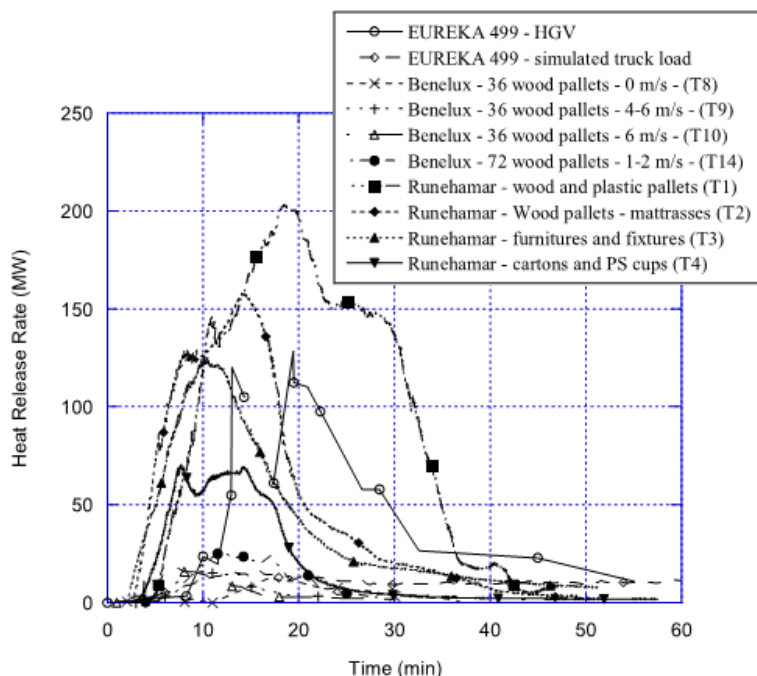
1. I tunnlar med enbart persontrafik, d.v.s. personbilar, skåpbilar och bussar (ej långtradarare) föreslås en max effektutveckling på 50 MW.
2. I tunnlar med både person- och långtradartrafik med låg sannolikhet för köbildning föreslås en maximal effektutveckling på 100 MW.
3. I tunnlar med både person- och långtradartrafik med hög sannolikhet för köbildning föreslås en maximal effektutveckling på 150 MW.

För godståg i tunnlar har Trafikverket tagit fram olika exempelkurvor för effektutvecklingen [29]. Den största effektutvecklingen, som inte omfattar brandfarlig vara, är en brand med en maxeffekt om 50 MW (slutna och intermodala transporter med kapell såsom trailers samt öppna flakvagnar med högriskprodukter såsom tunga fordon).

Utifrån ovanstående görs bedömningen att en fordonsbrand om 150 MW omfattar majoriteten av de scenarion som kan inträffa (brand i lastbil, bil, spårvagn, långtradarare). Långtradarare kan alltid medföra en större brandeffekt beroende på last, men 150 MW bör med marginal omfatta de normalt förekommande transporterna.

A.4.2 Tid

Branden i långtradarna pågick som längst i 60 min, se Figur 12. Att anta att en fordonsbrand pågår i 60 min bedöms därmed lämpligt. Detta innebär att strålningen mot linorna ej ska överstiga 18 kW/m^2 , se avsnitt A.2.2. För konservativa beräkningar kommer dock en konstant effektutveckling under denna tid antas. D.v.s. effektutvecklingen förutsätts inte stiga och sjunka i början/slutet av förloppet, vilket det skulle göra enligt fullskaleförsöken. Detta medför konservativa beräkningar.



Figur 12. Uppmätta brandeffekter hos långtradare i olika fullskaleserier [27].

A.4.3 Flamgeometri

Flamhöjden beräknas utifrån följande ekvation [23]:

$$L = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D$$

där

L = Medelflamhöjden (m)

$\dot{Q}$ = effektutvecklingen (kW)

D = diameter på branden (m)

Ett fordon får vara högst 2,60 m brett. En buss kan vara 13-19 m lång och en lastbil med ekipage 24 m [30]. Det är dock ej troligt att hela ytan brinner samtidigt.

I Tabell 9 redovisas flammhöjden beroende på den yta som antas brinna samt vald effektutveckling.

Tabell 9. Flamhöjd beroende av effektutveckling och branddiameter.

Effektutveckling	Brinnande yta	Motsvarande branddiameter	Flamhöjd
150 MW (långtradare)	2,6 x 19 m	8 m	19,5 m
150 MW (långtradare)	2,6 x 12 m	6,3 m	21 m
150 MW (långtradare)	2,6 x 5,2 m	4 m	23,6 m
30 MW (Buss, spårvagn)	2,6 x 5,2 m	4 m	10,5 m
30 MW (Buss, spårvagn)	2,6 x 1,2 m	2 m	12,5 m
10 MW (personbil)	2,6 x 5,2 m	4 m	5,3 m
10 MW (personbil)	2,6 x 1,2 m	2 m	7,5 m

Som synes beror flamhöjden mycket på antagen yta som brinner. Utifrån ovanstående bedöms en effektutveckling på 150 MW och en brinnande yta på 2,6 x 19 m, vilket ger en flamhöjd på ca 20 m, ge konservativa beräkningar som omfattar majoriteten av de scenarion som kan inträffa (brand i lastbil, bil, spårvagn, långtradare).

A.4.4 Utfallande strålning

Strålningen från en svart kropp beräknas enligt [19]:

$$P = \sigma \cdot T^4 \cdot \varepsilon$$

där

P=utstrålad effekt (W/m²)

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W m}^{-2}\text{K}^{-4}\text{)}$$

T=temperaturen (K)

ε = emittansen (varierar från 0-1).

Emittansens storlek beror på sammansättningen av det materia som brinner och på dess förämningsprodukter. För konservativa beräkningar antas denna vara 1, dvs. all strålning antas emittera mot objektet.

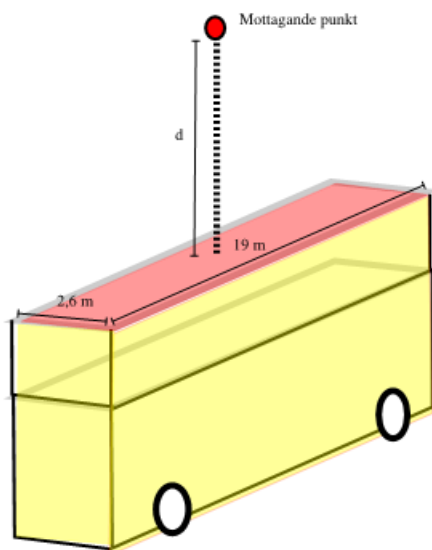
Enligt experiment varierar temperaturen i flammans mitt mellan 700°C och 1200°C, och dess topp mellan 500 °C och 600°C [31]. Flamtemperaturen antas därmed konservativt vara 900°C (1173 K). Den utstrålade effekten blir således 108 kW/m².

A.4.5 Synfaktor

Synfaktorn beräknas enligt avsnitt A.3.4 med strålande yta enligt Figur 13.

Beräkningar av synfaktorn, som tar hänsyn till den strålande ytans längd och bredd samt flammans avstånd till linbanan, visar att vertikalt avstånd mellan brand (flammans topp) och linorna måste vara minst 9 m. Då flamhöjden är 20 m innebär detta ett vertikalt riskavstånd på 29 m.

Till gondolerna är motsvarande vertikalt avstånd 28 m (8 m +20 m) respektive 48 m (28 m +20 m).



Figur 13. Vertikal strålände yta är rödmarkerad.

A.4.6 Vindpåverkan

Då beräkningar endast utförs i vertikalled studeras detta ej vidare, se avsnitt A.2.3.

A.4.7 Resultat

Det vertikala och horisontella avståndet mellan en farligt gods-led och linbanans linor/gondoler redovisas i Tabell 10.

Tabell 10. Beräknade avstånd från fordonsbrand till gondoler/linor

Vertikalt avstånd från väg (m)	
Stödlinor <400°C under 1 timme	29
Gondoler <15 kW/m ²	28
Gondoler <2 kW/m ²	48

A.5. Scenario 3: Brand i bostads-/kontorsbyggnad

Scenariot omfattar en brand i en bostads-/kontorsbyggnad.

NFPA har gjort en undersökning av flammhöjder vid brand i byggnader. Det anges att flammor initialt kommer att slå ut från fönster, men efter ca en timme kan flammor börja bryta ut genom bjälklag och tak. Spruckna fönsteröppningar kommer då utgöra en tilluftskälla varvid branden kan intensifieras. Vidare kan läsas att om 4 våningar står i brand skulle det medföra en flammhöjd på ca 8 m (förutsatt att varje våningsplan är 3 m högt). På samma sätt skulle 3 våningar i brand medföra flammhöjder upp mot ca 6,5 m, se Tabell 11.

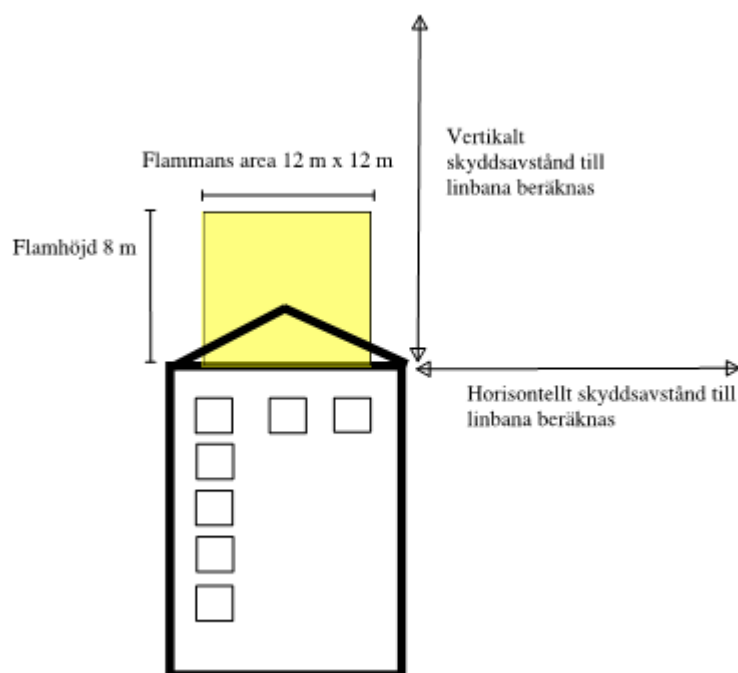
Tabell 11. Flammhöjden beroende av antalet våningar i brand [32].

Antal våningar i brand	Flammhöjd över taket
1	1,4 våningshöjder
2	1,8 våningshöjder
3	2,2 våningshöjder
4	2,6 våningshöjder

Brandskyddslaget har studerat en brand i Kv. Arkadien, Jönköping 2001 (brand i träbyggnader med 3 våningsplan). Där uppmättes som mest flammhöjder på ca 5 m och en diameter på ca 7,5 m (kvoten flammhöjd dividerat med brandens diameter uppskattades till 0,5-1,5) [33]. Flammornas bas antogs vid de flesta mätningarna vara i golvnivå på plan 2, vilket motsvarar ca 2,5 m ovan marken. Flambasen kan vara svår att definiera då bränsleytan inte alltid är plan. Hur flammorna påverkas av yttertak är också svårt att säga. I Kv. Arkadien hade den studerade byggnaden plåttak vilket, när det föll in, sannolikt dämpade flammorna till viss del.

De högsta byggnaderna som linbanan passerar är 12 våningar höga, dock är de generellt 2-6 våningar. Att anta att samtliga våningsplan brinner är dock inte rimligt. En brand som startar i den lägre delen av byggnaden kommer troligen inte brinna då branden har spridit sig till det övre våningsplanen. På samma sätt kommer troligen bränslet i de övre planen vara nästan uppbrunnet då branden spridit sig nedåt (brandspridning nedåt sker även långsammare). Det förutsätts därmed att 4 våningar brinner samtidigt. För konservativa beräkningar antas att de är de översta våningsplanen som brinner och att flambasen är placerad på byggandens tak.

Utifrån ovanstående antas en brand i en bostads- och kontorsfastighet ha en flammhöjd om ca 8 m, se Figur 14. Enligt Brandskyddslagets undersökning uppskattades kvoten mellan flammhöjd och flambas till 0,5-1,5. Detta skulle då innebära att maximal flambredd blir ca 12 m, se Figur 14.



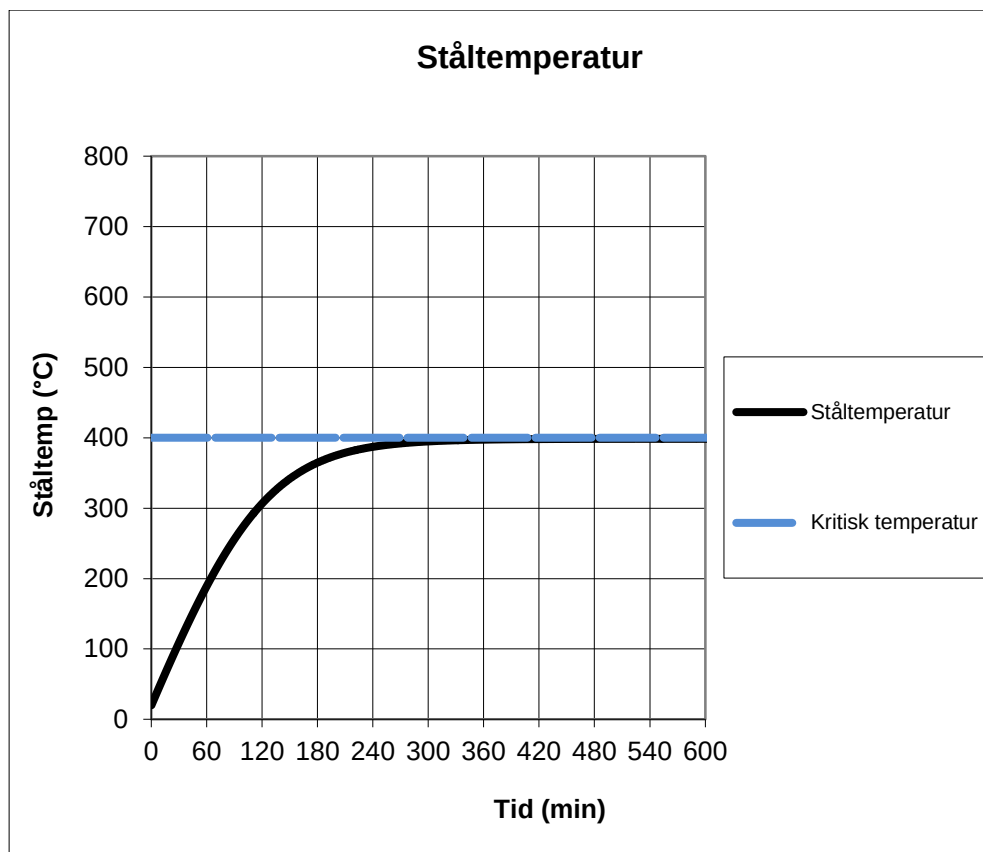
Figur 14. Brand ovan kontors- och bostadsfastighet.

A.5.1 Tid

Hur länge en fastighetsbrand pågår varierar mycket beroende på storlek, brandbelastning, väderförhållanden och räddningstjänstens möjligheter till insats. En vanlig kontors- och bostadsfastighet har normalt en brandbelastning om 800 MJ/m^2 [11]. En yta om $12 \times 12 \text{ m}$ (se avsnitt A.5) innebär då att ett energiinnehåll om 115200 MJ ska brinna upp. Förutsatt att denna yta består av trä, som har en förbränningsvärme på 18 MJ/kg [8] skulle detta motsvara ca 45 kg trä per kvadratmeter. Med en förbränningshastighet för trä på $14 \text{ g/m}^2\text{s}$ [33] skulle en sådan yta därmed kunna brinna i ca 1 timme. Antagen förbränningshastighet för trä gäller dock för enstaka plankor eller massivt trä. Förutsatt att ett helt våningsplan brinner kan förbränningshastigheten öka. Dock finns det material i fastigheten som har både högre och lägre förbränningshastighet än trä, varvid det antas utgöra ett genomsnitt.

En fastighetsbrand kan givetvis pågå en längre tid än ovan angivet på grund av brandspridning till ytor som ej omfattas av den antagna strålande ytan ($12 \times 12 \text{ m}$). Ju fler våningsplan som brinner desto större yta är det även som brinner, varvid branden kan pågå en längre tid.

Om linorna utsätts för en effektutveckling om 8 kW/m^2 kommer dock temperaturhöjningen i linorna avstanna och nå ett jämviktsläge efter ca 5 timmar, se Figur 15. Förutsatt att strålningen mot linorna inte överstiger 8 kW/m^2 ska de därmed kunna hålla funktionen under en längre tid. På grund av osäkerheten kring hur länge en fastighetsbrand kan pågå sätts därmed en strålning på 8 kW/m^2 mot linorna som dimensionerande i detta scenario.



Figur 15. Stöddlinans temperaturökning då den utsätts för en konstant effekt av 8 kW/m².

A.5.2 Utfallande strålning

Strålningen från en svart kropp blir enligt [19]:

$$P = \sigma \cdot T^4 \cdot \varepsilon$$

där

P=utstrålad effekt (W/m²)

$\sigma=5,67 \cdot 10^{-8}$ (W m⁻²K⁻⁴)

T=temperaturen (K)

ε = emittansen (varierar från 0-1).

Emittansens storlek beror på sammansättningen av det materia som brinner och på dess förbränningsprodukter. För konservativa beräkningar antas denna vara 1, dvs. all strålning antas emittera mot objektet.

Enligt experiment varierar temperaturen i flammans mitt mellan 700°C och 1200°C, och dess topp mellan 500 °C och 600°C [31]. Flamtemperaturen antas därmed konservativt vara 900°C (1173 K). Den utstrålade effekten blir således 108 kW/m².

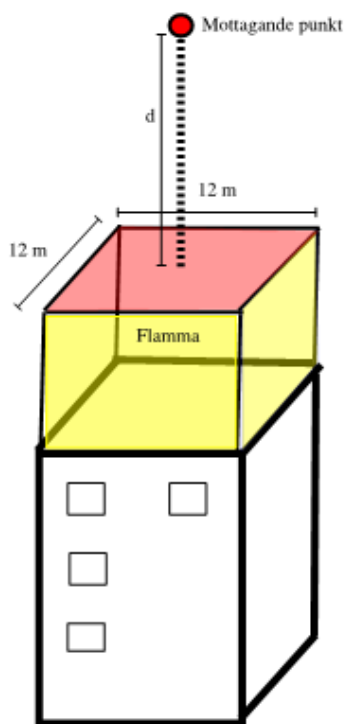
A.5.3 Synfaktor

Synfaktorn beräknas på samma sätt som avsnitt A.3.4 med strålande ytor enligt Figur 16 och Figur 17.

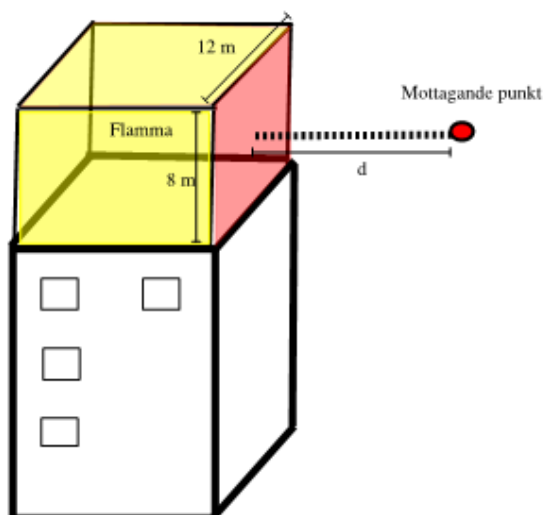
Vid beräkning av strålning/synfaktor vertikalt är det brandens bas som kommer utgöra den strålande ytan. Detta innebär att den strålande ytan blir 12x12 m, se Figur 16. Då beräkningar görs för mitten av den strålande ytan blir L1 och L2 därmed 6 m. Vid beräkning av strålning/synfaktor horisontellt är det brandens sida som kommer utgöra den strålande ytan. Detta innebär att den strålande ytan blir 12x8 m, se Figur 17. Då beräkningar görs för mitten av den strålande ytan blir L1 och L2 därmed 6 m respektive 4 m.

Beräkningar av synfaktorn, som tar hänsyn till den strålande ytans längd och bredd samt flammans avstånd till linorna, visar att vertikalt avstånd mellan brand (flammans topp) och linorna måste vara minst 24 m. Då flammhöjden är 8 m innebär detta ett vertikalt riskavstånd på 32 m. Det horisontella avståndet måste vara minst 20 m.

Till gondolerna måste motsvarande horisontellt avstånd vara 14 m för systemsäkerhet och 41 m för personsäkerhet. Motsvarande vertikalt avstånd är 25 m (17 m + 8 m) respektive 58 m (50 m + 8 m).



Figur 16. Vertikal strålande yta är rödmarkerad.



Figur 17. Horisontellt strålände yta är rödmarkerad.

A.5.4 Vindpåverkan

Med vindpåverkan enligt avsnitt A.2.3 kommer den strålände ytan i horisontalled att påverkas. Om flammen lutar 60° innebär detta att den strålände ytans höjd minskar till 4 m, men flyttas fram 7 m. Den strålände ytan blir således 4 x 12 m.

Horisontellt säkerhetsavstånd till linorna blir därmed 21 m (14 m + 7 m), till gondolerna 17 m (10 m + 7 m) för systemsäkerhet och 36 m (29 m + 7 m) för personsäkerhet.

A.5.5 Resultat

Det vertikala och horisontella avståndet mellan en farligt gods-led och linbanans linor/gondoler redovisas i Tabell 12.

Tabell 12. Beräknade avstånd från kontors- och bostadslägenhet till linor/gondoler.

	Horisontellt avstånd från tak (m)	Vertikalt avstånd från fastighetsvägg (m)
Stödlinor (systemsäkerhet)	20 (utan vind) 21 m (med vind)	32
Gondoler (systemsäkerhet)	14 (utan vind) 17 (med vind)	25
Gondoler (personsäkerhet)	41 (utan vind) 36 (med vind)	58

A.6. Scenario 4: Explosion

A.6.1 ADR-S klass 1

Vid transporter av ADR-S klass 1 (explosiva ämnen) finns risk att en explosion uppstår.

Den påverkan som kan uppkomma på människor till följd av tryckvågor kan delas in i direkta och indirekta skador. Vanliga direkta skador är spräckt trumhinna eller lungskador. De indirekta skadorna kan uppstå antingen då människor kastas iväg av explosionen (tertiära), eller då föremål (splitter) kastas mot människor (sekundära) [35].

Sannolikheten för en individ att träffas av splitter är låg, och antalet omkomna till följd av splitterverkan bedöms därför bli litet. Sammantaget bedöms riskbidraget från splitterverkan vara försumbart. Vad gäller trycknivåer, och de direkta skador som de ger upphov till, går gränsen för lungskador vid omkring 70 kPa och direkt dödliga skador kan uppkomma vid 180 kPa [19]. Dessa värden avser dock direkt tryckpåverkan, mot vilken den mänskliga kroppen är relativt tålig. Tertiära skador (då människor kastas iväg av explosionen) bedöms leda till dödsfall vid betydligt lägre tryck än 180 kPa. Dödliga förhållanden för personer utomhus antas i denna riskanalys uppstå redan vid 70 kPa (gräns för lungskador) då även sekundära effekter inkluderas. Enligt FÖP Göteborg blir konsekvensavståndet för en explosion om 25 ton explosivt ämne cirka 120 m. För en 150 kg laddning blir motsvarande avstånd omkring 30 meter [36].

Byggnader har normalt en relativ låg trycktålighet, och skadas svårt eller rasar vid tryck på 15-40 kPa (40 kPa för moderna byggnader). Då inga uppgifter finns om vilka tryck linbanan tål kommer motsvarande värde även nyttjas för denna. I FÖP Göteborg [36] anges att väggar kan förväntas raseras i moderna byggnader på upp till 250 meter från en 25 tons explosion. Vid en 150 kg explosion uppkommer 40 kPa på omkring 25 meter.

Tabell 13. Avstånd till det att byggnader (gondoler/linor) rasar/påverkas till följd av tryckpåverkan vid explosion på farligt-gods led.

Sfäriskt avstånd från farligt gods led	
Stömlinor (systemsäkerhet)	250 m
Gondoler (systemsäkerhet)	250 m
Gondoler (personsäkerhet)	250 m

A.6.2 ADR-S klass 5

Vid transporter av ADR-S klass 5 (oxiderande ämnen och organiska peroxider), vilket framförallt sker på Hamnbanana, har två typer av olycksscenarioer med påverkan på omgivningen har identifierats: explosion och brand.

Vid olycka med oxiderande ämne antas personer i omgivningen kunna omkomma om det oxiderande ämnet kommer i kontakt med organiskt material och ger upphov till förbränning. Förbränning antas leda till explosionsartade förlopp alternativt till kraftiga bränder i vegetation eller liknande i banvallens närhet.

Konsekvenserna av en explosion i en last med ammoniumnitrat beror till stor del på mängden som deltar i explosionen. Vid transport kan en vagn med 25 ton gods av RID-klass 5 vid urspärning kollidera med en vagn innehållande någon form av brännbart ämne som t.ex. bensin. Den blandning som då bildas kan konservativt motsvara 25 ton massexplosiv vara och leda till samma typ av

konsekvenser som vid olycka med massexplosiva varor [36], d.v.s. samma säkerhetsavstånd som för ADR-S klass 1.

Om det utläckande godset inte exploderar utan istället fungerar brandunderstödjande och bidrar till vegetationsbrand eller liknande antas att konsekvensområdet blir liknande det för stor pölbrand enligt avsnitt A.3 (Scenario 1).

Tabell 14. Avstånd till det att byggnader (gondoler/linor) rasar/påverkas till följd av tryckpåverkan vid explosion på farligt-gods led.

Sfäriskt avstånd från farligt gods led	
Stödlinor (systemsäkerhet)	250 m
Gondoler (systemsäkerhet)	250 m
Gondoler (personsäkerhet)	250 m

A.7. Scenario 5: Gasutsläpp

Brandfarliga gaser kan transporteras på Hamnbanan. RID-S riskgrupp 2.1 omfattas av brandfarliga gaser, exempelvis väte, propan, butan och acetylen. Här utgör brand den huvudsakliga faran, och gaserna är vanligtvis inte giftiga (vissa giftiga gaser, som exempelvis ammoniak, är vid höga koncentrationer även brandfarliga). De bör beaktas i huvudsak med avseende på de giftiga egenskaperna, vilka ger upphov till längre konsekvensavstånd än de brandfarliga egenskaperna. I aktuell rapport studeras ej säkerhetsavstånd avseende förgiftning, utan endast avseende brand. Brandfarliga gaser är ofta luktfria [37].

För brandfarliga gaser bedöms konsekvenserna för människor bli påtagliga först sedan utsläppet antänts. Tre scenarier kan antas uppstå beroende av typen av antändning. Om den, under tryck, läckande gasen antänds omedelbart uppstår en jetflamma. Om gasen inte antänds direkt kan det uppstå ett brännbart gasmoln som sprids med hjälp av vinden och kan antändas senare. Ett fritt gasmoln som antänds ger som regel upphov till en gasmolnsbrand utan signifikant övertryck [38]. Brännskador har ofta visat sig vara den helt dominerande skadan vid fria gasmolnsexplosioner [19]. Även beräkningar i ALOHA [39] visar att tryckupbyggnad inte sker om inte en omgivning som är svår att gå igenom ansätts (t.ex. mycket rörledningar, tät skog och liknande), vilket stöder resonemanget att konsekvenser till följd av en gasmolnsexplosion framförallt består av skador på grund av strålningspåverkan. Därmed kommer skador till följd av tryckpåverkan ej studeras vidare. Det tredje scenariot är en så kallad BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

Gaser indelas i brännbara, inerta och giftiga. Det är endast de brännbara och giftiga gaserna som antas kunna innebära dödliga konsekvenser för omgivningen vid olycka. Giftiga gaser behandlas dock ej vidare i denna rapport.

A.7.1 Gasmolnsbrand, jetflamma och BLEVE

Konservativt antas att det är tryckkondenserad gasol i samtliga vagnar, eftersom gasol har en låg brännbarhetsgräns, vilket antas medföra att antändning kommer att kunna inträffa på ett längre avstånd från olycksplatsen. Mängden gas i en järnvägsvagn antas till cirka 40 ton [40].

Utsläppsstorlekarna (för jetflamma och gasmoln) antas till: punktering (hålstorlek 20 mm) och stort hål (hålstorlek 100 mm) [37]. För respektive utsläppsstorlek beräknas, med simuleringsprogrammet *Gasol* [41], dels eventuell jetflammas längd vid omedelbar antändning, dels det brännbara gasmolnets volym samt området som påverkas vid en BLEVE. För jetflamma och brinnande gasmoln varierar

KONCEPTRAPPORT

skadeområdet med läckagestorlek, direkt alternativt fördröjd antändning samt vindhastighet. Beroende på om läckage inträffar i tanken i gasfas, i gasfas nära vätskefas eller i vätskefas kan utsläppets storlek och konsekvensområde variera. De värsta konsekvenserna bedöms uppstå om utsläppet sker nära vätskeytan och därför antas det konservativt att detta är fallet.

Det avstånd, inom vilket personer förväntas omkomma direkt, antas vara där värmestrålningsnivån överstiger 15 kW/m^2 , vilket är en strålningsnivå som orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering (cirka 2-3 sekunder) samt den strålningsnivå som bör understigas i minst 30 minuter utan att särskilda åtgärder vidtas i form av brandklassad fasad. Det är den strålningsnivå som gondolerna antas kunna klara.

Linorna klarar 18 kW/m^2 under en timme, samt 14 kW/m^2 under 1,5 h, (se avsnitt A.2.2) och vid driftstopp bör strålningen mot gondolerna ej överstiga 2 kW/m^2 . Då dessa kriterium förutsätter att gondolerna/linorna utsätts för en strålning under en längre tid är dessa inte dimensionerande vid aktuellt scenario. Detta då en gasmolnsbrand, jetflamma och BLEVE ej förväntas pågå under ett sådant långt förlopp. Därmed nyttjas endast att strålningen ej ska överstiga 15 kW/m^2 som kriterium i aktuellt scenario.

De indata som använts i Gasol för att simulera konsekvensområden för jetflamma och gasmoln presenteras nedan:

- Lagringstemperatur: 15°C
- Lagringstryck: 7 bar övertryck
- Utströmmingskoefficient (Cd): 0,83 (Rektangulärt hål med kanterna fläktat utåt)
- Tankdiameter: 2,5 m (jvg)
- Tanklängd: 19 m (jvg)15
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Tankens vikt tom: 50 000 kg
- Designtryck: 15 bar övertryck
- Bristningstryck: $4 \cdot \text{designtrycket}$
- Lufttryck: 760 mmHg
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Relativ fuktighet: 50 %
- Molnighet: Dag och klart
- Omgivning: Många träd, häckar och enstaka hus (tätortsförhållanden)

I Tabell 15 visas de avstånd inom vilka personer antas omkomma för respektive scenario vid olika typer av utsläpp. För jetflamma och brinnande gasmoln blir inte skadeområdet cirkulärt runt olycksplatsen utan mer plymformat. För brinnande gasmoln antas det att gasmolnet antänds då det fortfarande befinner sig vid tanken och inte har hunnit spädas ut ytterligare. Det brännbara molnets volym bedöms där vara som störst. Det skadedrabbade området, med avseende på brinnande gasmoln, uppskattas vara molnets storlek plus avståndet där tredje gradens brännskada kan uppnås från gasmolnsfronten.

KONCEPTRAPPORT**Tabell 15. Konsekvensavstånd där personer förväntas omkomma/gondolerna påverkas, för olika scenarier med brännbara gaser.**

Scenario	Läckagestorlek	Antändning	Konsekvensavstånd (m)
BLEVE			Cirkulärt 200 m radie
Hål i tank nära vätskeyta	Punktering (2,4 kg/s)	Jetflamma Gasmoln	18 (vertikalt) 18 (cirkulärt)
	Stort hål (60 kg/s)	Jetflamma Gasmoln	91 (vertikalt) 21 (cirkulärt)

Referenser

- [1] WSP, "Riskbedömning för detaljplan - Blandstad för stadsbebyggelse vid Järnvågsgatan m.fl.," Göteborg, 2015-06-17.
- [2] Trafikkontoret, "Trafikprognos Hamnbanan," Per email 06-10-2016.
- [3] WSP, "Riskbedömning för detaljplan - Transporter av farligt gods, Karlavagnsplaten Göteborgs Stad," 2015-06-02.
- [4] Räddningsverket, *Handbok för riskanalys*, Karlstad: Räddningsverket, 2003.
- [5] C. Albrecht, *Trafikkontorets expertstöd i aktuellt projekt.*, Per e-mail 15 September 2016.
- [6] D. Drysdale, "An Introduction to Fire Dynamics," University of Edinburgh, UK, 1998.
- [7] Försvarets forskningsanstalt, Avdelningen för vapen och skydd: Fischer m.fl., "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – Metoder för bedömning av risker," Tumba, 1997.
- [8] Boverket, "Allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BFS 2011:27 t.om BFS 2013:12 (BBRAD 3)".
- [9] Stadsbyggnadskontoret Göteborg, Stadsbyggnadskontoret Göteborg, 1997.
- [10] BBR, Boverket, 2006.
- [11] M. Koucky, Interviewee, [Intervju]. 3 Oktober 2016.
- [12] MSB, *ADR-S Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter (MSBFS 2009:2) om transport av farligt gods på väg och i terräng*, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2009.
- [13] Räddningsverket, *Förvaring av explosiva varor*, Karlstad, 2006.
- [14] VTI, *Konsekvensanalys av olika olyckscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, Väg- och transportforskningsinstitutet, 1994.
- [15] I. D. Sjöfartsinspektionen, "Telefonsamtal," 2009.
- [16] Sweco, "Detaljplan Järnvågsgatan och Masthugskajen – Besiktning och konsekvensberäkningar Rosenlundsverket," 2014-11-07.
- [17] Stena Nordica DoC, "Document of compliance with the special requirements for ships carrying dangerous goods," 2004.
- [18] FOA, Försvarets forskningsanstalt, 1997.
- [19] "SS-EN 1993-1-2:2005 (Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-2: Brandteknisk dimensionering)".
- [20] "Brandskyddshandboken, rapport 3134," Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2005.
- [21] SFPE, "Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition," 2002.
- [22] B. Karlsson och J. G. Quintiere, "Enclosure Fire Dynamics," 2000.
- [23] Seigel och Howell, *Thermal Radiation Heat Transfer*, 3rd ed., USA, 1992.
- [24] S. Særdgvist, "Initial Fires," Brandforsk: Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1993.
- [25] A. Johansson, Interviewee, *Räddningstjänsten Storgöteborg*. [Intervju]. 27 September 2016.
- [26] Räddningsverket, "Räddningsinsatser i vägtunnlar," Karlstad, 2005.
- [27] h. Haukur Ingason och A. Lönnermark, "Brandbelastning och brandscenarier för vägtunnlar, Arbetsrapport 2004:32," SP, Borås, 2004.
- [28] Trafikverket, "Tunnelsäkerhet, Dimensionerande brandeffektkurvor i godståg," 2016.
- [29] "Transportstyrelsen," [Online]. Available: http://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/publikationer/vag/yrkestrafik/lasta_laglig

- t_web_2014.pdf. [Använd 28 September 2016].
- [30] J. Bjrnft, ”Skydd mot brandspridning mellan småhus,” Boverket, Karlskrona, 2008.
 - [31] M. Glenting, ”Brand i äldre trhusbyggnader,” Brandteknik Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2002.
 - [32] E. Grahn och A.-C. Sandström, ”Flamhjder Kv Arkadien i Jönköping, Brandforskprojekt 320-011, 2003-09-22”.
 - [33] Rddnignsverket, ”Brandteori,” Karlstad, 1996.
 - [34] R. Forsn och S. Lamnevik, *Verkan av explosioner i det fria*, Stefan Lamnevik AB, 2010.
 - [35] Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, *versiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, Bilagor 1-5*, 1997.
 - [36] S. Halmemies, Rddnignsverket, 2000.
 - [37] TNO, ”Guideline for Quantitative Risk Assessment, part one Establishments and part two Transport, Purple book,” 2005.
 - [38] Environmental Protection Agency och National Oceanic and Atmospheric Administration, *Dataprogrammet ALOHA*.
 - [39] Svenska Gasfreningen, ”tgrder vid olyckor under gasoltransporter,” 2004.
 - [40] *Datorprogrammet Gasol*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.

WSP Sverige AB

Box 13033

402 51 Göteborg

Tel: +46 10 7225000

Fax: +46 10 7227420

www.wspgroup.se

UNITED
BY OUR
DIFFERENCE

