

Riskutredning detaljplan



Bokstödet 14, m.fl., Borlänge

2023-09-13

Rev. Datum:

-

PROJEKTNAMN
Bokstödet, Borlänge

STATUS
Version 1

FASTIGHET OCH KOMMUN
Bokstödet 14 m.fl., Borlänge

UPPDRAGSGIVARE
Byggpartner i Dalarna AB

UPPDRAGSANSVARIG
Fredrik Nystedt

HANDLÄGGARE
Fredrik Nystedt



Briab
The right side of risk



Innehåll

1. Inledning	3
1.1. Bakgrund	3
1.2. Syfte och mål	3
1.3. Omfattning och avgränsningar	3
1.4. Metod	3
1.5. Underlag	4
1.6. Kvalitetsledningssystem	4
1.7. Revideringar och egenkontroll	4
2. Riskhänsyn vid fysisk planering	5
2.1. Fysisk planering	5
2.2. Risk	5
2.3. Regelverk och styrande dokument	5
2.4. Metodik, principer och kriterier för riskvärdering	7
3. Planområdets förutsättningar	11
3.1. Planområdet och planförslaget	11
3.2. Väg E16/50/70	12
3.3. OKQ8 och Borlänge Energi	12
3.4. Personintensitet	13
4. Riskinventering	14
4.1. Transport av farligt gods	14
4.2. Projektspecifika data för beräkningar	17
5. Risknivåer och riskvärdering	19
5.1. Individrisk	19
5.2. Samhällsrisk	20
5.3. Bedömning av lämpliga säkerhetshöjande åtgärder	20
6. Slutsatser	23
6.1. Allmänt	23
6.2. Rekommendationer	23
7. Referenser	24
A. Frekvenser för olycka med farligt gods	27
B. Beräkning av konsekvenser	32
C. Risknivåer	45
D. Diskussion om modell och indata	46
E. Säkerhetshöjande åtgärder	47



1. Inledning

1.1. Bakgrund

Briab har fått i uppdrag av Byggpartner i Dalarna AB att utreda den riskbild som är förknippad med exploatering av Bokstödet 14 m.fl. Utredningen görs utifrån plan- och bygglagens (2010:900) krav på att bebyggelse ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till människors hälsa och säkerhet, och risken för olyckor.

1.2. Syfte och mål

Syftet med riskutredningen är att bedöma riskbilden som är förknippad med planerad markanvändning inom planområdet. Målet med utredningen är att ta fram ett underlag för aktuell detaljplaneprocess.

1.3. Omfattning och avgränsningar

Med risk avses i dessa sammanhang en sammanvägning av frekvensen för en olycka och dess konsekvens. Rapporten behandlar akuta risker för människors liv, så kallade olycksrisker vilka är relaterade till transport av farligt gods och omkringliggande farliga verksamheter. Följande risker behandlas ej:

- Risker för egendom, arbetsmiljö och påverkan på miljön.
- Risker förknippade med långsamma och negativa hälsoeffekter, så som buller, vibrationer, radioaktiv strålning, elektromagnetiska fält och luftföroreningar.

Tidshorisont för utredningen är vald till 2040, med tanke på trafiketal och befolkningstäthet.

Denna riskutredning omfattar följande typer av riskkällor:

- Transport av farligt gods på väg E16/50/70.
- Drivmedelsförsäljning i form av OKQ8 och Borlänge Energi.

Riskanalysen besvarar följande centrala frågeställningar.

- Hur kan riskhänsyn visas och finns det ett behov av åtgärder eller begränsningar för att möjliggöra föreslagen utveckling av planområdet?

1.4. Metod

Följande metodik används i denna riskutredning:

1. Riskidentifiering. För att ta reda på vilka riskkällor som kan vara relevanta för området studeras området (med omgivning) inom ramen för utredningens avgränsningar. I riskidentifieringen görs en första översiktlig bedömning för att sålla ut vilka riskkällor som erfordrar fördjupad analys.
2. Fördjupad analys. De olyckshändelser som är svårbedömda och väntas ge upphov till förändrad risknivå för området analyseras mer ingående via separata analyser. Händelsernas frekvenser och konsekvenser studeras via logiska argument och/eller via kvantitativa, probabilistiska metoder för att uppskatta risknivån.



Analysen arbetar efter följande frågeschema:

- a. Vad kan hända?
 - b. Hur ofta kan det hända?
 - c. Vilka blir konsekvenserna?
 - d. Hur stor är risken?
3. Riskvärdering. Uppskattade risknivåer ställs samman och en riskvärdering genomförs. Eventuella säkerhetshöjande åtgärder med koppling till markanvändning och funktion identifieras och därefter verifieras att de ger avsedd effekt på risknivån, det vill säga att den sjunker till en acceptabel nivå. Säkerhetshöjande åtgärder kan exempelvis vara att rekommendera mindre känslig verksamhet, verksamhet där människor inte uppehåller sig längre stunder, skyddsavstånd eller tekniska lösningar och funktionskrav.

1.5. Underlag

Nedan framgår vilket planeringsunderlag som nyttjats i utredningen.

HANDLING	UPPRÄTTAD AV	DATUM
Förslagsskiss Landskap	Urbio	2023-08-30

1.6. Kvalitetsledningssystem

Denna rapport omfattas av egenkontroll enligt anvisningarna i Briabs kvalitetsledningssystem, vilket är certifierat enligt ISO 9001. Egenkontrollen omfattas av en handläggarkontroll samt en kvalitetsgranskning genomförd av en särskild utsedd kvalitetskontrollant inom Briab. Vid kontrollen används en särskild checklista för att säkerställa att relevanta krav tillgodosetts. Checklisten ser olika ut beroende på typ av uppdrag och handling. Revideringar av handlingar ska normalt genomgå samma kontroll som ovan. Mindre formaliaändringar som inte påverkar utformning i övrigt får ske av handläggare själv. I dessa fall ska detta framgå i handlingen.

1.7. Revideringar och egenkontroll

Datum och revideringsdatum samt handläggare och kvalitetsgranskare för samtliga framtagna versioner av denna handling sammanfattas i tabell nedan:

DATUM	STATUS	HANDLÄGGARE	KONTROLL
23-09-13	Version 1 (inför samråd)	Fredrik Nystedt	Håkan Niva



2. Riskhänsyn vid fysisk planering

2.1. Fysisk planering

Fysisk planering regleras av plan- och bygglagen och miljöbalken och är en delprocess i samhällsplaneringen. Den fysiska planeringen reglerar användningen av mark- och vattenområden i tid och rum. Den fysiska planeringen tar oftast sin form i översiktsplaner och detaljplaner, som båda tas fram av kommunen som är självbestämmande i dessa frågor. Länsstyrelsen har i processen en rådgivande och granskande roll. Länsstyrelsens uppgift är att företräda och samordna statens intressen samt bevaka särskilda frågor kopplat till bland annat riksintressen och frågor som rör hälsa och säkerhet.

2.2. Risk

Begreppet **risk** kan tolkas på olika sätt. I denna utredning tolkas risk som en oönskad händelses sannolikhet multiplicerat med omfattningen av dess konsekvens, vilka kan vara kvalitativt eller kvantitativt bestämda. I utredningen kvantifieras risk med två olika riskmått, individ- respektive samhällsrisk.

Med **individrisk**, eller platspecifik risk, avses risken för en enskild individ att omkomma av en specifik händelse under ett år på en specifik plats. Individrisken är oberoende av hur många människor som vistas inom ett specifikt område och används för att se till att enskilda individer inte utsätts för oacceptabelt höga risknivåer [1].

Samhällsrisk, eller kollektivrisken, visar den ackumulerade sannolikheten för det minsta antal människor som omkommer till följd av konsekvenser av oönskade händelser. Till skillnad från individrisk tar samhällsrisk hänsyn till den befolkningssituation som råder inom undersökt område [1].

2.2.1. Riskhänsyn

Kommunernas planer prövas alltid av länsstyrelsen med avseende på miljö, hälsa och risken för olyckor. Riskhänsyn i fysisk planering är därför högst relevant, och viktigt att ta med i planeringsprocessens tidiga skeden för att minska sårbarhet och öka planområdets robusthet [2].

Alla verksamheter är förknippade med risker som människor till viss grad accepterar, och nytta i en aspekt balanseras med en riskkostnad i densamma. I planprocessen innebär en alltför strikt riskhänsyn mycket stora skyddsavstånd från transportleder och verksamheter, vilket i sin tur kan innebära dålig stadsuppbyggnad och ineffektiv markanvändning. En riskanalys i en planprocess syftar därför till att optimera markanvändningsnytta till en låg riskkostnad.

2.3. Regelverk och styrande dokument

2.3.1. Plan- och bygglagen (2010:900)

Plan- och bygglagen (2010:900) anger att bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till bland annat människors hälsa och säkerhet. Vidare ska bebyggelse och byggnadsverk utformas och placeras på den avsedda marken på ett sätt som ger lämpligt skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser.



2.3.2. Länsstyrelsen i Dalarnas vägledning

Länsstyrelsen i Dalarna har publicerat en vägledning för riskhantering i fysisk planering gällande farligt gods. Vägledningen medger att en riskhanteringsprocess ska genomföras när detaljplaner tas fram inom 150 meter från en transportled för farligt gods [3]. Principiellt medger vägledningen olika skyddsavstånd beroende på vad som tillämpas på markanvändningen inom olika avstånd från transportleden.

- 0 till 30 meter får markanvändningen normalt sett utgöras av exempelvis odlingar, trafikytor, ytparkeringar och friluftsområden utan att skyddsåtgärder vidtas.
- 30 till 70 meter får markanvändningen normalt sett utgöras av exempelvis bilservice, industrier, mindre handel, lager m.fl. utan att skyddsåtgärder vidtas.
- 70 till 150 meter får markanvändning normalt sett utgöras av exempelvis bostäder i högst 2 plan, mindre samlingslokaler, handel, m.fl. utan att skyddsåtgärder vidtas.
- Mer än 150 meter får markanvändning normalt sett utgöras av exempelvis bostäder i mer än 2 plan, vård, hotell, skolor m.fl. utan att skyddsåtgärder vidtas.

Trots att markanvändningen normalt sett får vara den som beskrivs i punkterna ovan, måste en lämplighetsbedömning göras av hur känslig den planerade markanvändningen är utifrån till exempel exploateringsgrad, persontäthet, lokalkännedom etc.

I de fall den förslagna markanvändningen avviker från skyddsavstånden bör en inledande riskanalys göras, för att klara ut om det på platsen finns unika förutsättningar eller går att skapa sådana förhållanden att det är lämpligt att göra avsteg från avstånden.

Riskanalysen ska visa vilka åtgärder eller platsspecifika förutsättningar som kan kompensera för avsteget från skyddsavstånden. Beroende på förhållandena på platsen, och i vilken utsträckning skyddsavstånden frångås, kan en kvantitativ analys behöva göras. Kvantitativa metoder använder beräkningsmodeller och indata för att ge ett kvantitativt mått på risknivån. Beräkningarna kan vara deterministiska, det vill säga man räknas på vilka konsekvenser tänkbara scenarier medför; eller probabilistiska, när man beaktar såväl sannolikheten för som konsekvenserna av en händelse. Den kvantitativa riskanalysmodellen som används inom samhällsplanering skiljer på två olika typer av riskmått; individrisk och samhällsrisk. Individrisk är ett mått på den risk som en enskild individ som kontinuerligt befinner sig inom ett definierat område, så kallad effektzon, utsätts för. Samhällsrisk är ett mått på den risk en grupp av människor inom effektzonen utsätts för.

2.3.3. Riskstrategi i FÖP Borlänge

Borlänge kommun har inom ramen för den fördjupade översiktsplanen för Borlänge tätort utrett vilken hänsyn som krävs vid planering intill transportleder för farligt gods [4]. Med hjälp av riskanalyser har riskhanteringsavstånd till olika verksamheter, till exempel 50 meter till transportleder för farligt gods på väg, 40 meter till järnväg och 500 meter till rangerbangården fastställts. Inom riskhanteringsavståndet behöver en riskbedömning genomföras för att utreda riskerna samt fastställa behovet av säkerhetshöjande åtgärder.

Riskstrategin har sin fokus i bostadsbebyggelse och föreslår åtgärder som bidrar till att så få människor som möjligt ska drabbas vid en eventuell olycka i samband med transport av farligt gods.



2.4. Metodik, principer och kriterier för riskvärdering

2.4.1. Metodik för riskhantering

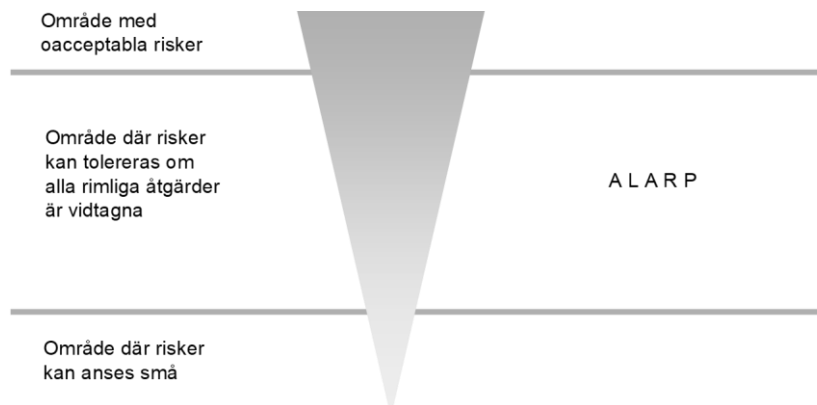
Riskhanteringsprocessen utgör ett systematiskt och kontinuerligt arbete för att kontrollera eller minska olycksrisker. Hanteringen kan delas in i tre delar: riskanalys, riskvärdering och riskreduktion. Dessa behandlar allt från identifiering av riskkällor och potentiella olyckshändelser till beslut om och genomförande av säkerhetshöjande åtgärder samt uppföljning av att besluten ger avsedd påverkan på riskbilden. Schematiskt kan processen beskrivas enligt Figur 1.



Figur 1. Metodik för riskhantering [5].

2.4.2. Allmänt om kriterier för riskvärdering

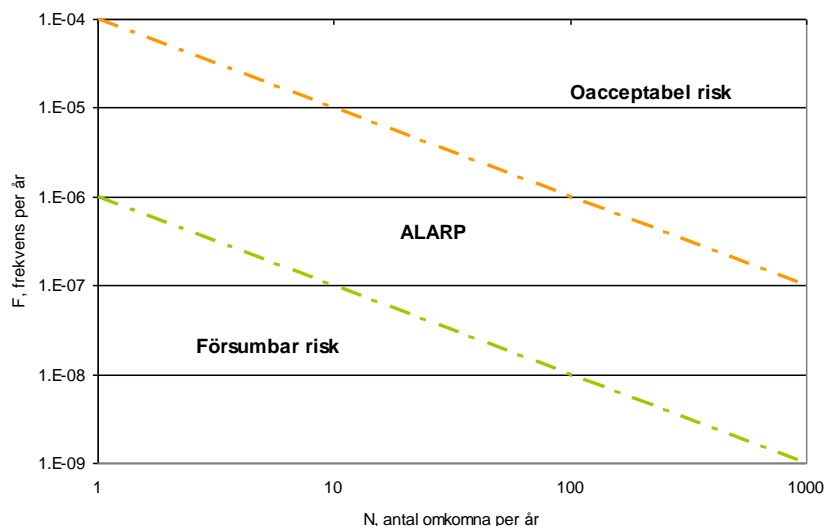
Kriterier för riskvärdering kommer att användas för att avgöra om risknivån är acceptabel eller inte. Acceptanskriterierna uttrycks vanligen som sannolikheten för att en olycka med en given konsekvens skall inträffa. Risker kan delas in i tre kategorier. De kan anses vara acceptabla, acceptabla med restriktioner eller oacceptabla. Figur 2 beskriver principen för riskvärdering [1].



Figur 2. Princip för uppbyggnad av riskvärderingskriterier [1].



Om en risk anses vara acceptabel med restriktioner innebär det att risknivån är i ett område som vanligtvis benämns "ALARP", vilket är en förkortning av "As Low As Reasonably Practicable". Befinner sig risken för en olycka inom detta område bör riskerna reduceras så mycket som är möjligt utifrån samhällsekonomiska och praktiskt perspektiv. Konkret kan det efter en avvägning avseende kostnad och riskreduktion innebära en kombination av olika säkerhetshöjande åtgärder. Exempel på sådana säkerhetshöjande åtgärder kan vara separering (avstånd till transportleden), differentierad bebyggelse, byggnadstekniska åtgärder och utformning av området närmast transportleden. I Figur 3 visas hur ALARP-zonen kan definieras med kvantitativa mått.



Figur 3. Illustration av ALARP-zonen för samhällsrisik med exempel på riskvärderingskriterier [1].

2.4.3. Räddningsverkets (MBS:s) fyra principer för riskvärdering

För risker förknippade med människors hälsa och säkerhet bedöms risknivåerna övergripande utifrån de fyra principer som utarbetats av Räddningsverket, nuvarande MSB [1]:

- **Rimlighetsprincipen** - Risker som med tekniskt och ekonomiskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras ska alltid åtgärdas (oavsett risknivå).
- **Proportionalitetsprincipen** - En verksamhets totala risknivå bör stå i proportion till den nytta i form av exempelvis produkter och tjänster som verksamheten medför.
- **Fördelningsprincipen** - Riskerna bör, i relation till den nytta verksamheten medför, vara skäligt fördelade inom samhället.
- **Principen om undvikande av katastrofer** - Om risker realiserats bör detta hellre ske i form av händelser som kan hanteras av befintliga resurser än i form av katastrofer.

Proportionalitets- och fördelningsprincipen och principen om undvikande av katastrofer uppfylls vid värdering med de kvantitativa värderingskriterierna för individ- och samhällsrisik. Rimlighetsprincipen kan uppfyllas genom exempelvis så kallad kostnad-nytta-analys [1].

2.4.4. Risker för tredje man

När riskvärdering och kriterier för risktolerans diskuteras ska graden av frivillighet att utsätta sig för den aktuella risken tas med, och därför skiljs det på personer som har anknytning till den aktuella riskkällan, och personer ur allmänheten, så kallat "tredje man". Denna uppdelning grundar sig i fördelningsprincipen som menar att enskilda grupper inte ska



utsättas för oproportionerligt stora risker i förhållande till den nytta som den riskfyllda verksamheten genererar för dem, se avsnitt 2.4.3. Tredje man är alltså för verksamheten utomstående individer som inte är direkt inblandade i verksamhetens riskbild men som ändå kan löpa skada vid en olycka.

När det gäller transport av farligt gods eller andra risker i den fysiska planeringen räknas exempelvis boende, personer som befinner sig på offentliga platser eller i affärer som tredje man. Risknivåtoleransen för tredje man bör vara mycket låg, eftersom dessa personer endast har liten eller ingen nytta av att verksamheten bedrivs. För att risknivån ska anses tolerabel för tredje man kan säkerhetshöjande åtgärder bli nödvändiga, och markanvändning kan behöva regleras genom att planera för exploatering avsedd för låg persontäthet.

2.4.5. DNV:s föreslagna kriterier

I Sverige finns inget nationellt beslut om vilket tillvägagångssätt eller vilka kriterier som ska tillämpas vid riskvärdering inom planprocessen. Länsstyrelsen i Dalarna rekommenderar i sin vägledning att DNV:s kriterier används, vilket även är praxis i Sverige. Det Norske Veritas (DNV) förslag på riskkriterier gällande individ- och samhällsrisk [1] redovisas nedan.

För *individrisk* föreslog DNV följande kriterier:

- Övre gräns för område där risker, under vissa förutsättningar, kan accepteras: 10^{-5} per år.
- Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga: 10^{-7} per år.

För *samhällsrisk* föreslog DNV följande kriterier:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: $F=10^{-4}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N-kurva: -1.
- Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga: $F=10^{-6}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N-kurva: -1.

Samhällsriskkriterierna ovan beräknas med frekvenser för 1 km transportled och avser ett område på 1 km^2 med den tillkommande bebyggelsen placerad i mittpunkt.



2.4.6. Riskhänsyn till drivmedelstationer

Drivmedelsstationer medför bland annat risk för brand, spill och utsläpp av drivmedel, bullerpåverkan och exponering för avgaser från trafik och vid tankning samt påfyllning [6].

Hur ofta leveranser sker påverkar sannolikheten för en olycka som medför påverkan på omgivningen. *Bättre plats för arbete* anger ett riktvärde på 100 meter mellan drivmedelsstationer och bostadsbebyggelse [7]. Länsstyrelsen i Stockholms län anger följande rekommendationer [6]:

- Byggnad bör med hänsyn till brand- och explosionsrisk inte uppföras inom ett avstånd av 25 meter från tankfordonets lossningsplats, avluftningsanordningar från bensincisternen och tankställe där fordon tankas (pump).
- Från bostäder och samlingsplatser utomhus till bensinstation bör ett minimiavstånd på 50 meter alltid hållas, ur både risk-, miljö och hälsoskyddssynpunkt. Detta längre avstånd gäller främst med hänsyn till luftföroreningarnas långsiktiga påverkan på människor.

Sedan rekommendationerna för riskhänsyn vid ny bebyggelse för drivmedelsstationer skrevs av Länsstyrelsen i Stockholms län med ovanstående rekommendationer har absolutkrav för gasåterföring vid tankning införts, vilket både minskar utsläpp och explosionsrisker. Detta gör att de avstånd som rekommenderades år 2000 med största sannolikhet skulle vara kortare om rekommendationerna skrevs om idag. En undersökning i Luleå kommun visar att gasåterföringssystemen minskar utsläppen av lättflyktiga kolväten i samband med drivmedelshandling med cirka 70 % [8].

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har gett ut en handbok om hur föreskrifterna om hantering av brandfarliga gaser och vätskor bör tillämpas vid drivmedelsstationer [9]. MSB rekommenderar ett skyddsavstånd på minst 25 meter från lossningsplats till bostäder. Mellan tankställe och bostad rekommenderas ett avstånd på minst 18 meter.

Utifrån skydd mot olyckor avseende transport och hantering av brandfarliga varor på drivmedelstationer kan ett skyddsavstånd på 25 meter från plats där brandfarlig vara hanteras till bebyggelse tillämpas. För boende, vårdbehövande eller barn bör även hänsyn tas till hälsopåverkan av lättflyktiga kolväten. Ett skyddsavstånd på 50 meter till bostäder är tillräckligt för att exponeringen ska vara tillfredsställande låg.

För tankstationer med fordonsgas rekommenderas ett skyddsavstånd på 100 meter till svårutrymda lokaler, vilket bostäder kan bedömas vara [10].



3. Planområdets förutsättningar

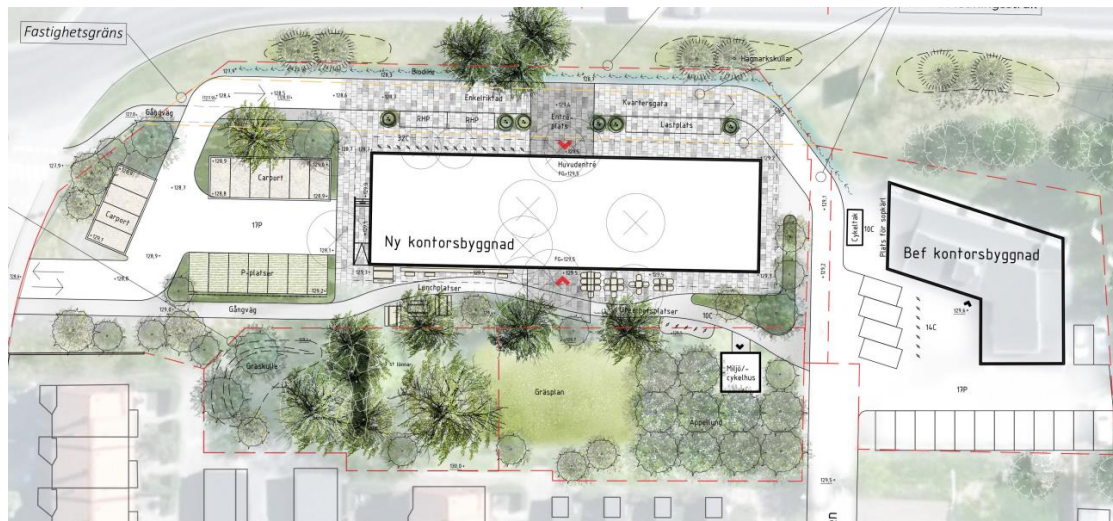
3.1. Planområdet och planförslaget

Nu gällande detaljplan för fastigheterna omfattar kontor på Bokhållaren 16 och bostäder på Bokstödet 1 och 14. I Figur 4 visas en flygbild över planområdet.



Figur 4. Flygbild över planområdet. Källa: Lantmäteriet.

Ändringen av detaljplanen syftar till att pröva en utökad byggrätt för kontor på Bokhållaren 16 i form av en påbyggnad med två våningar. För Bokstödet 1 och 14 avses en ändrad användning till kontor närmst Siljansvägen och bibehållen användning i form av bostäder i en L-formad struktur mot Lergatan och Spelmansgatan. Bostäderna är befintliga. I Figur 5 visas en förslagsskiss för landskap. Notera att skissen är roterad cirka 50 grader motsols.



Figur 5. Förslagsskiss för planområdet. Källa: Urbio.

Närmsta avstånd till transportled för farligt gods i form av väg E16/50/70 är 50 meter, vilket innebär att Länsstyrelsen i Dalarnas vägledning (se avsnitt 2.3.2) ska följas. Nordost om planområdet finns drivmedelsförsäljning och försäljning av fordonsgas.

3.2. Väg E16/50/70

Väg E16/50/70 är en rekommenderad transportled för farligt gods. Hastighetsbegränsningen är 80 km/h, med undantag för passagen genom Grådarondellen där hastigheten är begränsad till 60 km/h. Vägen har fyra körfält vilka delas upp i två körfält per köriktning genom en mindre upphöjning i mitten av vägen.

Tabell 1. Inhämtade trafikuppgifter för år 2019 från en trafikmätning, och uppräknade trafikuppgifter avseende år 2040 [11].

PARAMETER	MÄTNING 2019	PROGNOS 2040
ÅDT Fordon	24 270	28 367
ÅDT Lastbilar	2 520	3 250
ÅDT Axelpar	26 120	30 753

En viktig parameter för att kunna bedöma sannolikheten för en trafikolycka, och därigenom också sannolikheten för en olycka med farligt gods är *olyckskvoten*. Detta är ett mått på mängden olyckor som sker på vägen. Enheten för olyckskvot är olyckor per miljon fordonskilometer. För aktuellt sträcka har värdet 0,8 olyckor per miljon fordonskilometer använts [12].

3.3. OKQ8 och Borlänge Energi

OKQ8 har en tankstation för flytande drivmedel på fastigheten Domnarvet 50:21 och Borlänge Energi har en tankstation för fordonsgas på fastigheten Järnverket 1. I avsnitt 2.4.6 redovisas ett skyddsavstånd på 50 meter till tankstationer för flytande drivmedel och 100 meter till gastankstationer. I Figur 6 visas hur dessa skyddsavstånd relaterar till planområdet. Då planområdet ligger bortanför skyddsavståndet behövs ingen fördjupad riskbedömning för dessa verksamheter.



Figur 6. Skyddsavstånd till tankstationer.

3.4. Personintensitet

Planförslaget inrymmer 12 befintliga radhus, vilka kan antas inrymma upp till 50 personer. Kontorsbyggnaderna har plats för cirka 100 personer.



4. Riskinventering

4.1. Transport av farligt gods

Med farligt gods avses varor eller ämnen som har sådana egenskaper att de kan vara skadliga för människor, miljö och egendom om de inte hanteras rätt under transport [13]. Med transportleder för farligt gods avses sådana leder som är utpekade som primära eller sekundära transportleder eller vägar där det sannolikt kan gå farligt gods-transporter. En primär transportled för farligt gods är avsedd för genomfartstrafik, varför där kan förväntas gå farligt gods-transporter i alla klasser¹, medan en sekundär transportled är avsedd för lokala transporter till och från de primära lederna.

Huvuddelen av olyckorna med farligt gods inblandat är i grunden trafikolyckor och åtgärder för att förbättra vägsäkerheten medverkar därför också till att minska risken för en olycka med farligt gods. Det finns andra händelser än trafikolyckor som kan ge ett utsläpp av farligt gods, till exempel fordonsbränder och handhavandefel vid lastning. En brittisk studie visar att andelen sådana händelser är i storleksordningen 5 % och det antas därmed att dessa händelser inryms i de konservativa skattningar av olycksfrekvenserna som rapporten bygger på [14].

4.1.1. Transportklasser (ADR) och representativa scenarier

Transport av farligt gods på land regleras i ADR² för transport på väg. Farligt gods utgörs av flera olika ämnen vars fysikaliska och kemiska egenskaper varierar, och i ADR delas farligt gods in i klasser beroende på vilka farliga egenskaper som ämnet har. I Tabell 2 beskrivs klasserna och karakteristiska konsekvenser för respektive klass.

Tabell 2. Kortfattad beskrivning av respektive ADR-klass.

KLASS	KATEGORI	BESKRIVNING	KONSEKVENSER
1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etc.	Orsakar tryckpåverkan, brännskador och splitter. Stor mängd massexplosiva ämnen ger skadeområde med 100 m radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvenser.
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, gasmolnexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden över hundratals meter. Omkomna både inomhus och utomhus.

¹ Transporter med farligt gods delas in i nio olika klasser för ämnen med liknande risker vid transport på väg. Klassificeringen benämns ofta ADR-klasser efter ett europeiskt regelverk för transport av farligt gods på landsväg.

² ADR är europeiska föreskrifter för transport av farligt gods på väg och i terräng. I Sverige används den nationella anpassningen ADR-S (MSBFS 2021:6).



KLASS	KATEGORI	BESKRIVNING	KONSEKVENSER
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 20 m från en pöl. Rök kan spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror 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, kaliumklorat, ammoniumnitrat, etc.	Tryckpåverkan och brännskador. Självantändning, explosionsartat brandförlopp vid kontakt med brännbart organiskt material. Konsekvensområden för tryckvågor uppemot 100 m.
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).	Utsläpp av frätande ämne. Dödliga konsekvenser begränsade till närområdet. Personskador kan uppkomma på längre avstånd.
9	Övriga farliga ämnen	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Konsekvenserna vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet.

I tabellen ovan kan fyra olika typer av konsekvenser härledas:

- Brand
- Explosion
- Utsläpp av giftiga kemikalier
- Utsläpp av frätande kemikalier

Dessa konsekvenser kan härledas till olyckor med farligt gods i klass 1, 2, 3, 6 och 8. Ämnen i klass 4 (4.1-4.3), oxiderande ämnen och organiska peroxider i klass 5 (5.1-5.2), radioaktiva ämnen i klass 7 och övriga ämnens i klass 9 utgör normalt ingen fara för omgivningen då konsekvenserna koncentreras till fordonets närhet. Det finns dock undantag, till exempel kan oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5) som blandas med brandfarliga vätskor (klass 3) orsaka explosioner. Föroreningar i en tank med väteperoxid (klass 5) kan orsaka ett skenande sönderfall med en tanksprängning som följd.

Utöver den uppdelningen i olika klasser krävs kännedom om fördelningar inom respektive klass för att kunna göra korrekta beräkningar av risken. Exempelvis omfattar klass 2 "gaser", vilka kan vara brandfarliga, giftiga eller sakna någon av dessa egenskaper. Likaså spelar det stor roll vilken av underklasserna 1.1-1.3 alternativt 1.4 som explosivämnena i klass 1 tillhör. Klass 1.4 kan nämligen inte kan ge upphov till skador som påverkar omgivningen.



4.1.2. Farligt gods på väg E16/50/70

För andelen av godstrafiken som transporterar farligt gods används värdet 1,5 %. Nationell statistik från förvaltningsmyndigheten Trafikanalys under perioden 2017-2021 visar att transporter med farligt gods utgjorde cirka 1 % av antalet godstransporter. Statistiken baseras på registerdata samt svar på enkäter från aktörer i sektorn. Indelning i respektive ADR-klass redovisas i Tabell 3, och utgår från nationell statistik då regional statistik inte finns att tillgå.

Uppdelningen av ADR-klass 1, 5 och 6 i underklasser har hämtats från Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM) [15] i brist på annan information. Klass 2 utgår från MSB:s mätningar från 2006. För klass 3 har det antagits förekomma ämnen med både brandfarliga och giftiga egenskaper i 5 % av fallen.

Tabell 3. Uppdelning av transport av farligt gods på väg E16/50/70 i huvudklasser och underklasser. Underklassen "Övrigt" betecknar farligt gods som inte kan utgöra en fara för omgivningen.

ADR-KLASS	ANDEL INOM ADR-KLASS	UNDERKLASS	ANDEL INOM UNDERKLASS
1	1,5 %	Explosivt	10 %
		Övrigt	90 %
2	24,0 %	Giftigt	10 %
		Brännbart	30 %
		Övrigt	60 %
3	43,9 %	Giftigt	5 %
		Brandfarligt	95 %
4	4,6 %	-	-
5	2,8 %	Explosivt	5 %
		Övrigt	95 %
6	8,8 %	Flytande	72 %
		Övrigt	28 %
7	0,1 %	-	-
8	10,1 %	-	-
9	5,2 %	-	-

4.1.3. Val av olycksscenarioer

Vid transport av farligt gods utgör nedanstående olycksförlopp de dimensionerande olycksscenarioerna som utgör underlag till beräkning av individ- och samhällsrisknivåer (se även Tabell 4):

- Detonation av massexplosiva ämnen som orsakar tryckskador och brännskador.
- Detonation till följd av blandning av oxiderande ämne med brandfarlig vätska.
- Utsläpp och antändning av kondenserad brännbar gas som kan ge upphov till BLEVE, gasmolnsexplosion, gasmolnsbrand och jetflamma, vilket leder till brännskador och i vissa fall även tryckskador.
- Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor vilka orsakar pölbrand med efterföljande brännskador.



- Utsläpp av kondenserad giftig gas som orsakar förgiftning vid inandning.
- Utsläpp av giftiga brandfarliga vätskor vilka orsakar förgiftning vid inandning när de driver i väg som gasmoln.
- Utsläpp av giftiga vätskor som orsakar förgiftning vid inandning när de driver i väg som gasmoln.
- Utsläpp av frätande vätskor vilka orsakar frätskador vid hudkontakt.

Tabell 4. Sammanfattning av dimensionerande olycksscenarioer vid transport av farligt gods.

ÄMNE	PRIMÄR HÄNDELSE	SEKUNDÄR HÄNDELSE	SKADEVERKAN
Massexplösiva ämnen	Detonation vid olycka och/eller transport.	Brand	Brännskador Trycksador
Tryckkondenserade gaser	Förångas vid utsläpp och övergår i gasform som driver i väg med vinden.	Brand och explosion vid antändning av gasmoln på längre avstånd från utsläppskällan (UVCE ³). Jetflamma vid antändning av utströmmande gas. Explosion vid kraftig upphettning av tryckkondenserad gas som kokar och släpps ut momentant från en bristande tank (BLEVE ⁴).	Brännskador Trycksador Förgiftningsskador vid inandning
Brandfarliga, giftiga och frätande vätskor	Breder ut sig på marken och bildar pölar som avdunstar. Giftiga ångor driver i väg med vinden.	Pölbrand vid antändning av vätskepöl. Explosion vid antändning av avdunstade ångor, eller vid blandning med oxiderande organiska peroxider.	Brännskador Trycksador Förgiftningsskador vid inandning Frätskador vid hudkontakt

4.2. Projektspecifika data för beräkningar

Nedan redovisas övrig projektspecifika data som använts vid beräkningar av risknivåer, enligt metoden som beskrivs i bilagan.

4.2.1. Vägtrafikdata

Antal fordon förbi planområdet med farligt gods på väg E16/50/70 beräknas till 17 800 per år.

Nedan anges övriga trafikdata till beräkningarna. Se beräkningsbilagan för mer information.

HASTIGHET	ANDEL SINGELOLYCKOR	KORRIGERINGSFAKTOR	INDEX FARLIGT GODS
70 km/h ⁵	0,20	1,80	0,12

³ Unconfined Vapour Cloud Explosion.

⁴ Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosion.

⁵ Högsta tillåtna hastighet är 80 km/h, undantaget genom cirkulationsplatsen där den är 60 km/h. Ett antagande om 70 km/h bedöms som konservativt med hänsyn till cirkulationsplatsens uppbromsande effekt.



Nedan redovisas omräkningen från 0,8 olyckor per miljon fordonskilometrar till 0,74 olyckor per miljon axelparskilometer för väg E16/50/70:

$$O_{k,axelpar} = O_{k,fordon} \times \frac{\text{ÅDT}_{fordon}}{\text{ÅDT}_{axelpar}} = 0,8 \times \frac{28367}{30753} \approx 0,74$$

Dimensionerande olycksfrekvens beräknas därefter till 1,33 olyckor per miljon axelparskilometer, genom att multiplicera olyckskvoten med korrigeringsfaktorn (1,8).

4.2.2. Frekvens för olycksscenarioer för vägtrafik

De enskilda scenariernas frekvenser i Tabell 5 är den data som frekvensmodellen lämnar över till riskmodellen som redovisas i bilagan. I riskmodellen används frekvenserna tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna för att beräkna risknivåer.

Tabell 5. Frekvenser per år för respektive scenario vid vägtransport.

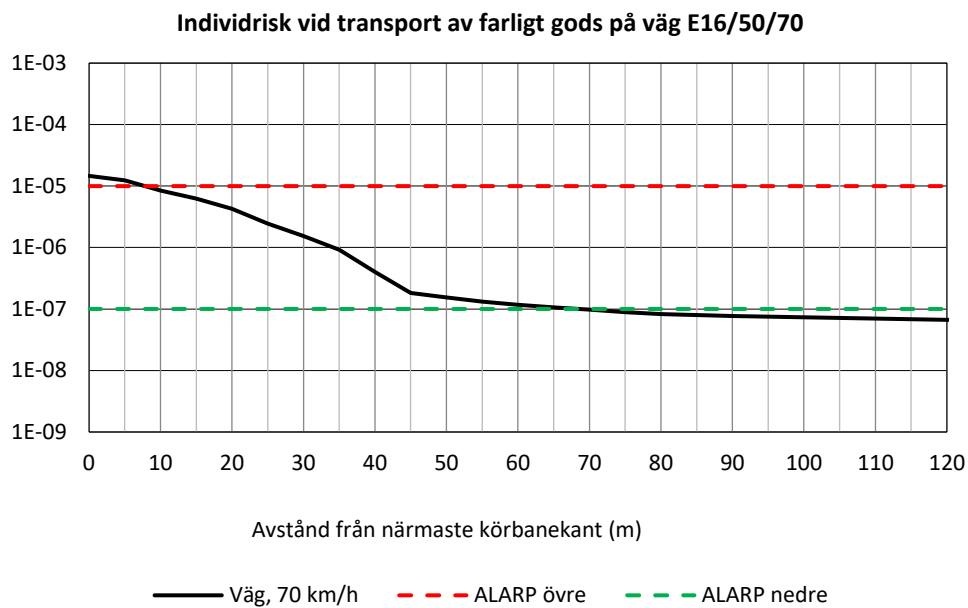
SCENARIO	FREKvens VÄG E16/50/70
Klass 1 detonation	2,8E-08
Klass 2 BLEVE	3,9E-08
Klass 2 jetflamma	4,9E-07
Klass 2 UVCE	1,2E-07
Klass 2 giftmoln	7,8E-08
Klass 3 pölbrand (direkt)	1,4E-04
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	7,1E-05
Klass 3 giftigt (ej brand)	1,5E-06
Klass 5 detonation	1,1E-07
Klass 6 giftmoln	5,7E-06
Klass 8	8,1E-05
Summa:	3,0E-04



5. Risknivåer och riskvärdering

5.1. Individrisk

I Figur 7 visas individrisken som en funktion av avståndet från väg E16/50/70 i höjd med planområdet. Risknivån är oacceptabel inom 10 meter från närmsta körbanekant och förhöjd upp till 70 meter från närmsta körbanekant.



Figur 7. Individrisk vid transport av farligt gods på väg E16/50/70 utmed planområdet.

I Figur 8 visas hur planområdet berörs av område med förhöjd risk. Det kortaste avståndet till väg E16/50/70 är drygt 40 meter.



Figur 8. Område med förhöjd risk till följd av transport av farligt gods på väg E16/50/70.



5.2. Samhällsrisk

På grund av planområdets storlek och att ändringen av antal personer inom planområdet med förhöjd individrisknivå är liten görs inga beräkningar av samhällsrisk. Något tillskott i personer som är känsliga, eller många medges inte. Ej heller planeras för ytterligare tillskott av sovande personer. Individrisken bedöms kunna användas för att fastställa behovet av säkerhetshöjande åtgärder.

5.3. Bedömning av lämpliga säkerhetshöjande åtgärder

Enligt länsstyrelsen i Dalarnas vägledning kan kontor och samt bostäder i två plan uppföras på 70 meters avstånd utan krav på ytterligare skyddsåtgärder. Enligt vägledningen ska dock en lämplighetsbedömning göras för att se om det inte finns några platsspecifika förhållanden som kräver längre avstånd. Resultatet av riskanalysen ligger i linje med vägledningen och det bedöms inte finnas ett behov av särskilda skyddsåtgärder i planområdet på ett avstånd som är längre än 70 meter från närmsta väkant till väg E16/50/70.

Det finns flera exempel på åtgärder som skyddar mot olyckor och ett sätt att kategorisera dem finns i Boverkets och Räddningsverkets vägledningsrapport *Säkerhetshöjande åtgärder i detaljplaner* [16]. Åtgärderna är kategoriserade efter typ av åtgärd. Dessa är sorterade efter hur de vanligen förhåller sig till byggnaden och byggskedet enligt följande:

- Åtgärder före byggskedet eller vid sidan av en byggnad - markåtgärder. Markåtgärderna delas in i markåtgärder respektive separations-/barriäråtgärder.
- Åtgärder förknippade med byggskedet - byggnadsåtgärder. Byggnadsåtgärder delas in i utformningsåtgärder och fasadåtgärder.

Exempel på markåtgärder är markbeläggning (genomsläpplig eller tät), invallning, och dike. Separationsåtgärder kan vara skyddsavstånd, vegetation, vall och mur. Utformningsåtgärder handlar om hur planområdet och byggnaderna disponeras, förstärkning av stomme, placering av friskluftsintag. Ej öppningsbara fönster och brandskyddad fasad är två exempel på fasadåtgärder. I vägledningsrapporten finns detaljerad information om utformning av dessa säkerhetshöjande åtgärder och deras effekt mot olika typer av olyckor [16]. Där finns också information om hur sådana åtgärder kan beskrivas i detaljplaner.

De säkerhetshöjande åtgärderna som belyses i detta avsnitt är:

- Skyddsavstånd samt disponering av byggnader och område
- Ventilationsåtgärder för att skydda mot giftiga ämnen
- Skydd mot brandspridning

5.3.1. Skyddsavstånd, disponering av byggnad och område samt utrymning

Markanvändningen inom planområdet kan disponeras på sätt så att den allmänna risknivån i planområdet minskas. Det kan innebära att markanvändning som innefattar fler personer, känsligare personer och personer som kan ha svårt att sätta sig själva i säkerhet, placeras längre bort från riskkällor än annan markanvändning där dessa faktorer inte är lika påtagliga.

När en olycka inträffar och räddningstjänsten beslutar om evakuering av intilliggande fastigheter är det viktigt att detta ska kunna ske så säkert som möjligt. För att uppnå tillfredsställande evakuering är det vanligt att byggnader där personer vistas stadigvarande och är lokaliserade nära en transportled för farligt gods ska vara möjliga att evakuera på



säkert sätt. Detta konkretiseras ofta med utrymningsvägar i riktning bort från riskkällan eller i skydd av annan bebyggelse.

För att uppnå denna funktion i aktuell detaljplan rekommenderas att utrymning i riktning som inte vetter direkt mot väg E16/50/70 möjliggörs. Kravet gäller inom 70 meter från väggkant till väg E16/50/70.

5.3.2. Ventilationsåtgärder för att skydda mot giftiga ämnen

Förgiftningsskador står för ett litet bidrag till individrisken för planområdet. Även vid en mycket låg risknivå kan dock olyckor med farligt gods som leder till utsläpp av giftig gas få stora konsekvenser om sådana skulle inträffa. Konsekvensberäkningarna i bilagan visar att flertalet olycksscenarier kan få påverkan på stora avstånd.

Giftiga gaser är ofta tyngre än omgivande luft, vilket innebär att de rör sig längs med marken. Placeringen av friskluftsintag högt uppe kan minska risken att giftiga gaser kommer in i byggnaderna. Effekten blir större ju närmre utsläppspunkten som byggnaden är placerad och ju högre luftintaget är placerat. Lokala väder- och vindförhållanden har dock fortfarande betydelse för koncentrationen, men åtgärden kan minska koncentrationen med mellan 20 % och över 90 % beroende på höjden och avståndet från utsläppspunkten. En placering av friskluftsintag på högre höjd än 8 meter ovan mark minskar påtagligt koncentrationen av giftiga gaser inomhus, men även lägre placeringar ger en reducerande effekt.

Ett alternativ till högt placerade friskluftsintag är att placera dem på byggnaders oexponerade sidor. I Boverkets och Räddningsverkets vägledningsrapport redovisas effekten av att placera friskluftsintag på byggnaders oexponerade sidor [16]:

- Åtgärden minskar konsekvensen av utsläpp av brandgaser och andra giftiga gaser genom att gasens inträngning i byggnaden minskar.
- Åtgärden minskar sannolikheten för explosion i en byggnad vid utsläpp av brandfarlig gas utomhus.
- Underhållsbehovet är lågt och åtgärden förväntas fungera väl över tiden.
- Det kan bildas högre gaskoncentrationer i lä för vinden på den ej exponerade sidan.
- Effekten minskar om det finns öppningar, såsom fönster och dörrar, på den exponerade fasaden.

För att åtgärden skall ge bästa möjliga effekt bedöms det fördelaktigt att samtidigt begränsa möjligheten till öppningar (exempelvis fönster, dörrar och vädringsluckor) i den fasad som vetter mot farligt godsled.

Förutsatt att skyddsåtgärd i form av takplacerade friskluftsintag, alternativt placerade på den oexponerade sidan implementeras, bedöms erforderlig skydds nivå uppnås. Kravet gäller inom 70 meter från väggkant till väg E16/50/70.

5.3.3. Skydd mot brandspridning

Skydd mot brandspridning kan åstadkommas antingen genom ett skyddsavstånd eller genom en kombination mellan markåtgärd och skyddsavstånd alternativt avskärmande bebyggelse mellan riskkällan och bebyggelsen.

Något särskilt skydd mot brandspridning från pölbränder erfordras inte för byggnader som uppförs på avstånd längre än 30 meter från närmaste väggkant eller 20 meter från dike med avaknings skydd eller den kant på vall som vetter mot vägen, se bilaga för mer information.



En BLEVE kan innebära en mycket stor konsekvens vilken skulle kunna komma att påverka stora delar av planområdet. Sannolikheten för en BLEVE att uppkomma är dock mycket låg. Vidare är BLEVE ett utdraget förlopp vilket bedöms ge en förhållandevis god möjlighet att utrymma området innan konsekvensen uppkommer. Att dimensionera byggnader för att motstå en BLEVE och därmed skydda personer inomhus bedöms inte heller rimligt med avseende på kostnads-nyttosynpunkt då denna olycka är mycket osannolik samtidigt som det skulle krävas mycket långtgående åtgärder för att motverka konsekvensen av en BLEVE.

Det genomsnittliga påverkansavståndet från gasmolnsbrand/explosion är 35 meter och konsekvensområdet bedöms vara relativt begränsat. Till skillnad från giftig gas kan brännbar gas ha samma densitet eller lättare än luft. Gasmolnsbrand/explosion bedöms främst ge upphov till skador på de personer som vistas utomhus i brandens/explosionens direkta närhet varför ytterligare skydd mot olyckan inte bedöms vara möjlig att implementera med planbestämmelser.

Då kortaste avstånd till väg E16/50/70 är drygt 40 meter erfordras inga åtgärder för skydd mot brandspridning.



6. Slutsatser

6.1. Allmänt

Syftet med riskanalysen är att undersöka om olycksriskerna avseende farligt gods och närliggande drivmedelstationer är acceptabla för studerat planområde. Genom en riskanalys kan möjliga olyckor identifieras och bedömas och eventuella skyddsåtgärder kan därmed rekommenderas.

6.2. Rekommendationer

Utifrån beräkningar, kriterier, platsspecifika förhållanden och kvalitativa värderingar görs följande rekommendationer gällande planbestämmelser för del av planområdet som ligger inom 70 meter från närmsta väggkant till E16/50/70:

- Nya byggnader, tillbyggnader eller påbyggnader för stadigvarande vistelse utförs med friskluftsintag placerade på tak eller på sida som vetter bort från väg E16/50/70.
- Nya byggnader, tillbyggnader eller påbyggnader för stadigvarande vistelse utförs med minst en utgång (från varje byggnad) på fasad som vetter bort från väg E16/50/70.

Inga ytterligare skyddsåtgärder anses nödvändiga att lyfta in i detaljplanen. Notera att detta enbart gäller vid den markanvändning och övriga förutsättningar som anges i kapitel 3.



7. Referenser

- [1] Räddningsverket, "Värdering av risk," Statens Räddningsverk, Karlstad, 1997.
- [2] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), "Riskhänsyn i fysisk planering," [Online]. Available: <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/samhallsplanering/riskhansyn-i-fysisk-planering/>.
- [3] Länsstyrelsen Dalarnas Län, "Farligt Gods Riskhantering i fysisk planering Vägledning för planläggning intill transporter för farligt gods," 2012.
- [4] Borlänge kommun, "FÖP - Miljöstörande verksamheter och farligt gods," Borlänge, Hämtad 2020-03-24.
- [5] Länsstyrelserna i Skåne län, Stockholms län, Västra Götalands län, "Riskhantering i detaljplaneprocessen – Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods," 2006.
- [6] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer," Räddnings- och säkerhetsavdelningen, Stockholm, 2000.
- [7] Boverket, "Bättre plats för arbete - Boverkets allmänna råd 1995:5," 1995.
- [8] A. Westerfors, "Bensin & dieselhantering, miljörapport 2002:3,," Miljökontoret, Luleå kommun., Luleå, 2002.
- [9] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), "Handbok - hantering av brandfarliga gaser och vätskor på bensinstationer," 2015.
- [10] Energigas Sverige, "Anvisningar - tankstationer för metangasdrivna fordon," TSA 2020.
- [11] Trafikverket, "PM Trafikuppräkningsstal för EVA och manuella beräkningar 2017-2040-2065," Trafikverket, Borlänge, 2023.
- [12] Räddningsverket, "Farligt gods - Riskbedömning vid transport," Karlstad, 1996.
- [13] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), "Transport av farligt gods," 2020. [Online]. Available: <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/farligt-gods/>.
- [14] HMSO, "Major hazard aspects of the transport of dangerous substances - report and appendice," Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.
- [15] Länsstyrelsen i Skåne län, "Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen (RIKTSAM) - bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods," Rapport "Skåne i utveckling" 2007:06, 2007.
- [16] Räddningsverket och Boverket, "Säkerhetshöjande åtgärder i detaljplaner," 2006.



HANDLING
Riskutredning detaljplan
Bokstödet 14, m.fl., Borlänge

PROJEKTNAMN
Bokstödet, Borlänge

STATUS
Version 1

DATUM
2023-09-13

REV. DATUM
-

Bilagor till riskutredning farligt gods



2023-09-08

Rev. Datum:

PROJEKTNAMN
Byggpartner i Dalarna AB

STATUS
Version 0.3

KOMMUN OCH FASTIGHET
Bokstödet 14 m.fl., Borlänge

UPPDRAGSGIVARE
Byggpartner i Dalarna AB





A. Frekvenser för olycka med farligt gods

A.1. Generella indata

A.1.1. Olycksriktning

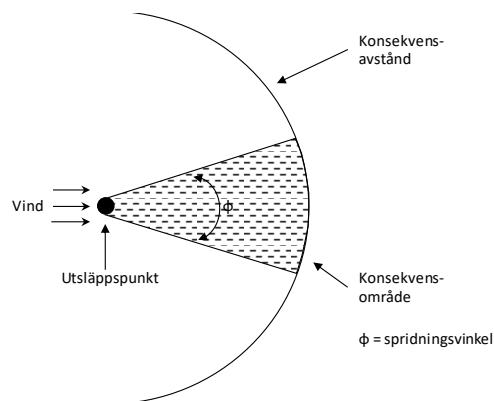
Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 6 redovisas vilken reduktion som måste göras i samband med beräkning av risk.

Tabell 6. Korrektionsfaktor för olyckans riktning.

SCENARIO	BESKRIVNING	KORRIGERING
Giftmoln	Utbredning i vindriktningen ⁶ (22°)	$22 / 360 = 0,061$
BLEVE	Cirkulär utbredning	1,0
UVCE	Utbredning i vindriktningen ⁶ (22°)	$22 / 360 = 0,061$
Jetflamma	Riktning uppåt, mot eller bort ⁷	$2/3 = 0,67$
Pölbrand	Cirkulär utbredning	1,0
Frätande ämne	Riktning mot eller bort ⁸	$1/2 = 0,50$

A.1.2. Spridningsvinkel

Giftmoln driver i väg med vinden. Gasen sprids i huvudsak längs med vindriktningen, men även till viss del i sidled. Spridningen i sidled bestäms av en spridningsvinkel, vilken i första hand beror på vindhastigheten. I Figur 9 visas en schematisk bild av spridningsförloppet. Spridningsvinkeln kan beräknas med en metod som visas i Figur 10.



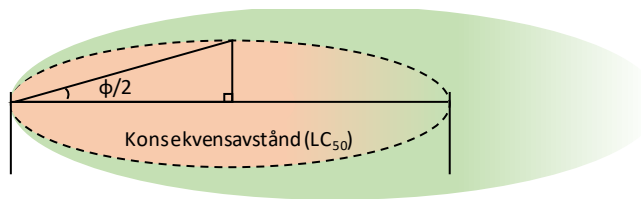
Figur 9. Illustration av konsekvensavstånd, konsekvensområde och spridningsvinkel vid spridning av giftmoln.

Vid halva avståndet till LC50 (se Figur 10) längs utsläppets centrumlinje mäts avståndet i sidled ut till samma koncentration. Denna sträcka är den motstående kateten till halva spridningsvinkeln.

⁶ I avsnitt A.1.2 redovisas hur spridningsvinkeln beräknats.

⁷ Jetflamman antas kunna vara riktad mot området, bort från området eller uppåt. Flammor som är riktade bort från området tas inte med i analysen.

⁸ Utsläpp av frätande ämne antas kunna ske mot eller bort från området. Utsläpp som riktas bort tas inte med i analysen.



Figur 10. Illustration hur spridningsvinkeln kan beräknas med utgångspunkt i gasspridningsmodellen.

Spridningsvinkeln har beräknats för olika väder- och vindförhållanden och redovisas i Tabell 7. Beräkningar har utförts med metodiken redovisad i avsnitt .

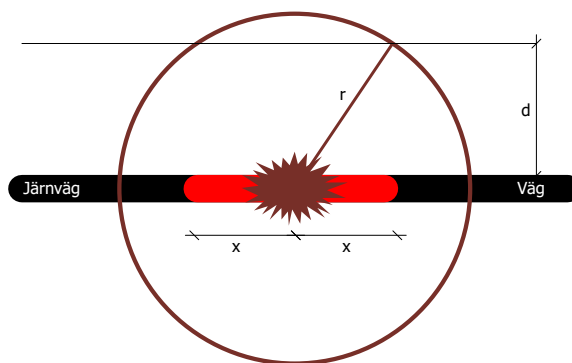
Tabell 7. Sammanställning av spridningsvinkel för olika väder- och vindförhållanden.

STABILITETSKLASS	VINDHASTIGHET	SPRIDNINGSVINKEL
Instabil	1–4 m/s	29–31°
Neutral	2–8 m/s	15–29°
Stabil	1–4 m/s	11–33°

Spridningsvinkeln blir smalare ju mer det blåser och vinkeln antar sitt högsta värde när vindhastigheten är 1 m/s. Med hjälp av statistisk analys som bygger på indata relevant för spridning i luft (se avsnitt B) kan det konstateras att spridningsvinkeln kommer vara 22° eller lägre i 95 % av fallen. 22° används som dimensionerande värde i riskanalysen.

A.1.3. Korrigeringsfaktor för att bedöma frekvensen att specifik olycka påverkar en punkt på ett givet avstånd från transportleden

Olycksfrekvenserna som beräknas utgår från en sträcka på 1 km. Eftersom de flesta olyckor endast påverkar en liten del av denna sträcka är det nödvändigt att korrigera för hur ofta en olycka som har en given utbredning, påverkar en punkt på ett visst avstånd från transportleden. Detta kan göras med en modell som bygger på den som redovisas i Figur 11.



Figur 11. Modell för beräkning av frekvensen att en olycka påverkar ett visst avstånd från transportleden.

Om olyckan har utbredningen r så måste olyckan inträffa på sträckan $2x$ för att ge en påverkan på avståndet d från transportleden. Notera att det endast är intressant att studera de fall där $d \leq r$, eftersom om $d > r$ blir det ingen konsekvens. Med hjälp av Pythagoras sats⁹

⁹ Pythagoras sats anger sambandet mellan sidorna i en rätvinklig triangel där kvadraten på hypotenusan är lika med summan av kvadraterna på kateterna.



kan x beräknas och sannolikheten att olyckan med utbredningen r påverkar avståndet d vid en olycksfrekvens angiven per kilometer blir således:

$$\frac{2\sqrt{r^2 - d^2}}{1\,000}$$

A.2. Scenarier

Nedan förtydligas huvud- och underklasser och vilka scenarier som analyseras.

Explosivämnen (ADR-klass 1)

Explosivämnen kan detonera på grund av stötar i samband med olycka, vid värmepåverkan i samband med fordonsbrand eller på grund av felaktiga förpackningar.

Gaser (ADR -klass 2)

Gaser delas in i tre huvudgrupper – de som är brännbara, de som är giftiga och de som inte utgör någon fara för omgivningen. För brännbara gaser behövs kännedom om vilka olyckor som inträffar. Om utsläpp av brännbara gaser sker kan följande inträffa^{10,11}:

- Ingen antändning, 30 %.
- UVCE, 50 %.
- BLEVE, 1 %.
- Jetflamma, 19 %.

Brandfarliga vätskor (ADR-klass 3)

Följande olyckor beaktas vid utsläpp av brandfarliga vätskor^{10,11}:

- Ingen antändning, 94 %
- Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %

Oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-klass 5) som kan orsaka explosion vid blandning med brännbara vätskor

Oxiderande ämnen i klass 5 utgör normalt ingen påtaglig risk för omgivningen. Under särskilda omständigheter kan en explosion inträffa, vilket sker om vissa typer av oxiderande ämnen blandas med brännbar vätska. De ämnen inom ADR-klass 5 som kan leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp är i huvudsak ej stabiliserade väteperoxider, vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid samt organiska peroxider. Det uppskattats att oxiderande ämne och brandfarlig vätska vid olycka på väg kommer i kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker efter kontakt¹², givet att de oxiderande ämnen och organiska peroxider kan orsaka en explosion vid blandning med brännbar vätska.

Giftiga ämnen (ADR-klass 6)

Giftiga ämnen i klass 6 transporteras antingen i flytande eller fast form. Ämnen i fast form utgör normalt ingen akut påverkan på omgivningen.

¹⁰ Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Journal of Hazardous Materials, 33, pp 229-259, 1993.

¹¹ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

¹² Riskanalysen i den fördjupade översiktsplanen för Göteborg använder en sannolikhet för explosion på 0,8 %, i jämförelse med 5,0 % som används i denna analys. Kunskapsunderlaget är litet och därför är det nödvändigt med konservativa antaganden.



Frätande ämnen (ADR-klass 8)

Samtliga läckage av ämnen i klass 8 kan orsaka skada på omgivningen.

A.3. Olyckor på väg

De allra flesta olyckor med transport av farligt gods är i grunden trafikolyckor vid vilka tankens skadas och utsläpp sker. Beräkning av antalet olyckor som leder till utsläpp av farligt gods kan göras med en modell som bygger på kännedom om:

1. Trafikarbete uttryckt som antal axelparskilometer med transport av farligt gods per år.
2. Olycksfrekvens uttryckt i antal olyckor per axelparskilometer.
3. Index för farligt godsolycka, vilket anger sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en trafikolycka inträffar.

Trafikarbete för fordon som medför farligt gods beräknas för en referenstid av ett år och utgör ett underlag för att bedöma det årliga antalet olyckor med fordon som medför farligt gods.

När olycksfrekvensen ska beräknas krävs kännedom om olyckskvoten, trafikarbetet och andelen singelolyckor. Modellen som beräknar antalet olyckor utgår från att alla olyckor är singelolyckor. Därför är det nödvändigt att kompensera för att fler än en bil kan vara inblandad i en trafikolycka. Detta kan lämpligen göras med en korrigeringsfaktor redovisad i Tabell 8 och beräknad enligt nedanstående modell¹³:

$$K_s = Y + 2 \cdot (1 - Y)$$

Data avseende andel singelolyckor har kurvanpassats för att ge möjlighet att bedöma värden för hastighetsbegränsningar som ej finns redovisade i ursprungsmaterialet.

Tabell 8. Andel singelolyckor i stad och på landsbygd.

HASTIGHETSBEGRÄNSNING	ANDEL SINGELOLYCKOR, Y	KORRIGERINGSFAKTOR, K _S
30 km/h	0,10	1,90
40 km/h	0,10	1,90
50 km/h	0,10	1,90
60 km/h	0,20	1,80
70 km/h	0,20	1,80
80 km/h	0,30	1,70
90 km/h	0,30	1,70
100 km/h	0,35	1,65
110 km/h	0,35	1,65
120 km/h	0,35	1,65

Olycksfrekvensen OF uttryckt i förväntat antal olyckor med fordon som medför farligt gods per fordonskilometer beräknas enligt nedanstående uttryck.

$$OF = O_k \cdot K_s$$

där:

¹³ Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Vägtransporter med farligt gods – Farligt gods i vägtrafikolyckor*, rapport nr 387:3, 1994.



O_k = Olyckskvoten. Om olyckskvot anges i enheten olyckor per miljon fordonskilometer räknas den om till enheten olyckor per miljon axelparskilometer. Se huvudrapporten för mer information.

K_s = Korrigeringsfaktor för olyckor med fler än ett fordon inblandade.

VTI¹³ anger ett index för farligt godsolycka, vilket ska tolkas som sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en trafikolycka inträffar. Indexet är beroende av hastigheten med vilken olyckan inträffar, se Tabell 9. VTI har i sin redovisning av olyckskvoten utgått från ett statistiskt underlag för 70 km/h och därefter har VTI antagit att olyckskvoten är proportionerlig mot rörelseenergin i kvadrat, ett samband som använts för att beräkna olyckskvoterna för övriga hastigheter.

Tabell 9. Index för farligt godsolycka¹⁴.

HASTIGHETSBEGRÄNSNING	INDEX FÖR FARLIGT GODSOLYCKA
30 km/h	0,01
40 km/h	0,02
50 km/h	0,03
60 km/h	0,06
70 km/h	0,12
80 km/h	0,22
90 km/h	0,25
100 km/h	0,31
110 km/h	0,40
120 km/h	0,51

Index för farligt godsolycka i Tabell 9 gäller för tunnväggiga tankar, det vill säga alla transporter undantaget tryckkondenserade gaser i ADR-klass 2. För dessa tankar är index för farligt godsolycka 1/30-del av värdet som anges där¹⁵.

Explosivämnen i ADR-klass 1 kan inte hanteras på samma sätt som övrigt farligt gods då sannolikheten för en detonation inte är direkt relaterad till det faktum att det sker en olycka där farligt gods läcker ut. Detonation av explosivämnen kan ske antingen genom fordonsbrand, vid kollisionsvåld eller genom defekt material/förpackning. Det finns statistik från Storbritannien (där transporter sker under liknande regelverk) som tydligt belyser risker med transport av explosivämnen. Frekvensen för detonation har bestämts till $1,1 \cdot 10^{-9}$ per fordonskilometer¹⁶.

A.3.1. Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Frekvenserna för respektive scenario beräknas enligt nedanstående modell:

$$F_{\text{scenario}} = OF \cdot T \cdot N_{\text{ADR-X}} \cdot N_{\text{ADR-X.X}} \cdot I_{\text{FaGo-olycka}} \cdot P_{\text{kons|ADR-X.X}} \cdot K_{\text{riktn}}$$

där:

OF är olycksfrekvensen.

¹⁴ Notera att index för farligt godsolycka för hastigheter större än 80 km/h är baserade på uppgifter för landsbygd då underlag saknas för stad.

¹⁵ Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

¹⁶ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



T är trafikarbetet i form av axelparskilometer per år.

N_{ADR-X} är andelen av farligt gods i huvudklass ADR 1-9.

$N_{ADR-X.X}$ är andelen inom respektive ADR-klass.

$I_{FaGo-olycka}$ är index för farligtgoodsolycka.

$P_{kons|ADR-X.X}$ är sannolikheten att ett visst scenario inträffar givet utsläpp i en specifik underklass.

K_{riktn} är en korrigeringsfaktor som tar hänsyn till i vilken riktning olyckan breder ut sig.

De enskilda scenariernas frekvenser är den data som frekvensmodellen lämnar över till "riskmodellen". I riskmodellen används ovanstående frekvenser tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna i avsnitt B.

En tabell över beräknade frekvenser redovisas i huvudrapporten.

B. Beräkning av konsekvenser

I detta avsnitt redovisas de modeller som har använts för beräkning av olyckornas konsekvenser. Syftet med avsnittet är att visa vilka modeller som använts på en övergripande nivå. Huvudreferens för detta avsnitt är:

Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.

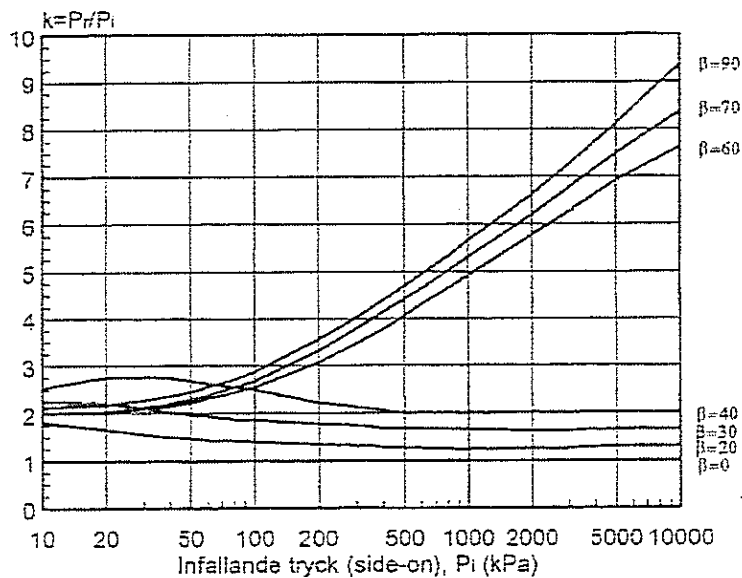
Om inget annat anges kommer beräkningsmetodik och ekvationer från ovanstående referens.

B.1. Detonation

Beräkning av tryckverkan vid detonation av explosivämne i ADR/RID-klass 1 och ADR/RID-klass 5 utförs enligt nedanstående metodik¹⁷:

- Inledningsvis beräknas laddningsvikten, vilken är en statistisk fördelning relaterat till förekommande transporter av farligt gods. Laddningsvikten ökas 1,8 gånger för att ta hänsyn till att explosionen sker nära mark (och ej fritt i luften).
- Det skalade avståndet ($r/Q^{1/3}$) beräknas där r är avståndet till laddningen och Q är den omräknade laddningsvikten.
- Med hjälp av information i Figur 12 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.

¹⁷ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



Figur 12. Maximalt övertryck respektive kvot mellan reflekterat- och infallande tryck där $\beta = 90$ innebär vinkelrätt tryckinfall (dimensionerande värde).

B.1.1. Avdunstning

Massflödet vid avdunstning behöver bedömas för att kunna uppskatta effekterna av spridning i luft vid utsläpp av giftig brandfarlig vätska i ADR/RID-klass 3. Massflödet beror på karakteristiska för utsläppt ämne (ångtryck, densitet, molekylvikt), vind samt utsläppets area. Beräkningen av massflödet görs genom att utnyttja det dimensionslösa masstransporttalet B med ekvationer¹⁸ enligt nedan. Traditionellt används alternativa metoder inom andra ingenjörsciensdiscipliner, men jämförande beräkningar visar att de olika metoderna överensstämmer väl¹⁸. Nedanstående ekvationer gäller för vätskor vars kokpunkt är högre än omgivningens temperatur.

$$Y_{FW} = \frac{1}{\left[1 + \left[\left(\frac{p}{p_F} - 1\right)\left(\frac{M_{luft}}{M_F}\right)\right]}\right]} \quad (1)$$

$$B = \frac{(Y_{Fz} - Y_{FW})}{(Y_{FW} - Y_{FR})} \quad (2)$$

$$Re = u \cdot D_{eq} / \nu \quad (3)$$

$$Nu = 0,037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr_{luft}^{1/3} \quad (4)$$

$$h = Nu \cdot k_{luft} / D_{eq} \quad (5)$$

$$Q'' = \frac{(h / C_{P_{luft}}) \cdot \ln(1 + B)}{1000} \quad (6)$$

$$Q = Q'' \cdot A \quad (7)$$

¹⁸ Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992.



$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (8)$$

där

- Y_{FW} = Massfraktion bränsle vid ytan i gasfas.
 $Y_{F_{\infty}}$ = Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan.
 Y_{FR} = Massfraktion bränsle i vätskepölen.
 p = Lufttryck = 101,3 kPa.
 p_F = Ångtryck för bränsle i kPa.
 M_{luft} = Molekylvikt för luft = 28,85 g/mol.
 M_F = Molekylvikt för bränsle i g/mol.
 B = Dimensionslöst masstransporttal.
 Re = Reynolds tal, dimensionslöst.
 Nu = Nusselts tal, dimensionslöst.
 Pr_{luft} = Prandtl's tal för luft, dimensionslöst = 0,71.
 u = Vindhastighet, m/s.
 D_{eq} = Pölens ekvivalenta diameter¹⁹, m.
 A = Pölens area, m.
 ν = Kinematisk viskositet för luft = $15,08 \cdot 10^{-6}$ m²/s.
 h = Konvektivt värmeövergångstal, W/m²K.
 k_{luft} = Konduktivitet för luft = 0,02568 W/mK.
 Q'' = Massflöde från ytan, kg/m²s.
 Q = Massflöde från ytan, kg/s.
 $C_{P_{luft}}$ = Värmekapacitet för luft = 1 J/gK.

Det är även möjligt att beräkna hur lång tid det tar för hela pölen att förångas. Förångningshastigheten (massflödet) används sedan som indata till spridningsmodellen. Om den avdunstande vätskan antänds gäller inte denna modell, utan modellen för beräkning av konsekvensen av en pölbrand (se avsnitt B.1.6).

B.1.2. Utströmning av gas (i vätskefas)

Vid utsläpp av tryckkondenserade gaser krävs kännedom om källstyrka (kg/s) och den initiala spridningsmodellen vilken är en så kallad turbulent jet (fri cirkulär jet i medvind).

¹⁹ Den ekvivalenta diametern används för att skapa en cirkel med samma area som själva vätskepölen.



$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{\rho_f}} \quad (9)$$

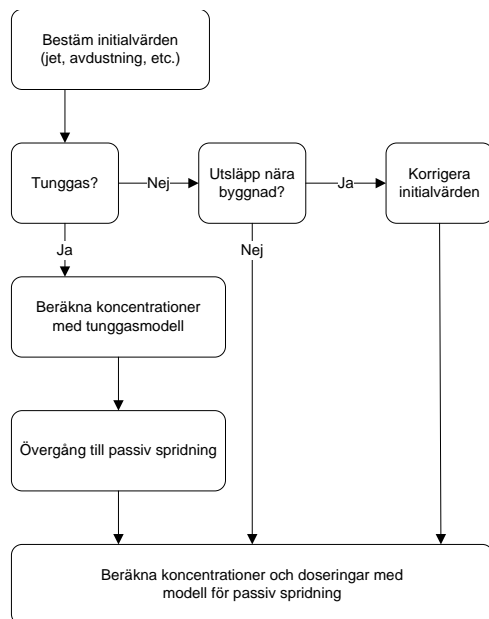
$$F = \frac{Q^2 \rho_f}{C_d A} \quad (10)$$

där,

- Q = Massflödet, kg/s.
- C_d = Kontraktionsfaktor för vätskeutströmning.
- A = Hålstorlek, m².
- P_0 = Tanktryck, Pa.
- P_a = Atmosfärstryck, Pa.
- ρ_f = Specifik volym hos vätskefas, m³/kg.
- F = Rörelsemängdsflöde i jetstråle, N.

B.1.3. Spridning i luft

Följande flödesschema²⁰ för utsläpp används för att uppskatta spridning i luft:



Figur 13. Flödesschema²⁰ för kontinuerliga utsläpp.

²⁰ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



Källmodell

Källmodellen kan antingen vara modellen för avdunstning i avsnitt B.1.1 eller modellen för bestämning av källstyrka vid utsläpp av tryckkondenserade gaser i avsnitt B.1.2.

Bestäm initialvärden

Värden för den initiala utspädningsprocessen²⁰ bestäms med följande ekvationer:

Avdunstning

= 0 i pölens kant uppströms i vindriktningen

$$\sigma_{y0} = 0,25 \cdot D_{eq} \quad (11)$$

$$\sigma_{z0} = 0,05 \cdot D_{eq} \quad (12)$$

där

σ_{y0}, σ_{z0} = Initiala utspädningskoefficienter i y- respektive z-led.

Tryckkondenserad gas

Utströmning av tryckkondenserad gas sker med en så kallad turbulent jet för vilken följande initiala dimensionsmått erhålls:

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,44R(x_{tr}) \quad (13)$$

Tunggas?

Nästa steg blir att avgöra om det finns ett tunggassteg eller inte vid beräkning av koncentrationer. Om tunggassteget inte existerar kan modellen för passiv spridning användas direkt. Tunggaseffekterna är försumbara när molnets tillväxt i sidled nått ner till samma värde som för passiv spridning. Detta kan uttryckas som ett avståndsvillkor för tunggasmodellens giltighet:

$$x \leq \frac{0,037L_b}{(\sigma'_{yp})^3} - \frac{\sigma_{y0}^{3/2}}{0,35L_b^{1/2}} = x_{\max} \quad (14)$$

$$\sigma'_{yp} = \beta \left(\frac{z_0}{z_{03}} \right)^{0,2} \quad (15)$$

$$L_b = g \left(1 - \frac{M_{luft}}{M_{F_{eff}}} \right) \cdot \frac{Q}{\rho_a u^3} \quad (16)$$

$$M_{F_{eff}} = M_F \left[1 + \frac{c_{pg}(T_a - T_{g0})}{c_{pa}T_a} \right] \quad (17)$$

där

T_{g0} = Gasens temperatur före luftinblandning, K

Eftersom gasens temperatur innan inblandning av luft är densamma som efter luftinblandning är $M_{F_{eff}} = M_F$. Tunggasmodellen ska tillämpas i intervallet $0 \leq x \leq x_{\max}$ varefter en övergång till modell för passiv spridning ska göras. Om x_{\max} är mindre än noll så ska tunggasmodellen överhuvudtaget inte användas.



Beräkning av koncentrationer med tunggasmodell

I intervallet $0 \leq x \leq x_{\max}$ har plymen en maximal koncentration i vindriktningen enligt nedanstående ekvation.

$$X_{\max}(x) = X(x, 0, 0) = \frac{85Q \cdot K_r^{-1} \cdot K_s}{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}}\right)^2 \cdot u} \quad (18)$$

$$K_r = \left(\frac{z_0}{z_{01}}\right)^{0,2} \quad (19)$$

där

X_{\max} = Maximal koncentration i vindriktningen, kg/m³.

K_r = Korrektionsfaktor för skrovlighet (ytråhet).

K_s = Korrektionsfaktor för atmosfärsstabilitet.

z_{01} = Referenslängd för skrovlighet (ytråhet) = 0,01 m.

Plymens bredd- och höjdmått beräknas med följande ekvationer.

$$\sigma_y(x) = \left[\sigma_{y0}^{3/2} + 0,35L_b^{1/2}x\right]^{2/3} \quad (20)$$

$$\sigma_z(x) = \frac{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}}\right)^2}{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_y(x)} \quad (21)$$

där

$\sigma_y(x)$ = Standardavvikelse för masskoncentration i y-led, m.

$\sigma_z(x)$ = Standardavvikelse för masskoncentration i z-led, m.

Övergång till passiv spridning

Vid x_{\max} är inte längre tunggasmodellen tillämpbar. Plymen har då fått standardavvikelser enligt ekvationerna (20) och (21) med $x = x_{\max}$ och dessa värden på σ_y och σ_z används som initiala värden (σ_{y0} och σ_{z0}) i modellen för passiv spridning.

Beräkning av koncentrationer med modell för passiv spridning

För den passiva spridningsfasen rekommenderas en gaussisk spridningsmodell i stället för en mindre realistisk boxmodell. Spridningsmodellen ger koncentrationen av gas på ett givet avstånd från utsläppspunkten med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (22)$$

där

$X(x, y, z)$ = Koncentrationen på avståndet x, y och z, kg/m³.

Q = Utsläppets källstyrka, kg/s.

σ_y, σ_z = Dispersionskoefficienter i sid- och höjddled



u = Vindhastigheten, m/s.

H = Utsläppets höjd, m

Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjddled beräknas enligt nedan.

$$\sigma_y = \frac{a_y (x + x_{y0})}{(1 + b_y (x + x_{y0}))^{\gamma_y}} K_{rp} K_{yt} \quad (23)$$

$$\sigma_z = \frac{a_z (x + x_{z0})}{(1 + b_z (x + x_{z0}))^{\gamma_z}} K_{rp} \quad (24)$$

där a , b , och γ är parametrar som beror på rådande stabilitet; x_{y0} och x_{z0} är avstånden till så kallade virtuella källor, det vill säga de koordinatförsjutningar som är nödvändiga för att plymen ska få rätt bredd och höjd initialt. K_{rp} anger en korrigering för underlagets skrovlighet och K_{yt} för samplingstidens (medelvärdesbildningstidens) påverkan på den horisontella spridningen. För bebyggt område är $K_{rp} = 1$ och K_{yt} antar ett värde på 1,0 då den önskade medelvärdesbildningstiden är densamma som medelvärdestiden (500 s).

Tabell 10. Konstanter för olika stabilitetsklasser.

STABILITETSKLASS	A_y	B_y	γ_y	A_z	B_z	γ_z
A	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
B	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
C	0,22	0,0004	0,5	0,20	0	0
D	0,16	0,0004	0,5	0,14	0,0003	0,5
E	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5
F	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5

Nedanstående ekvationer används för beräkning av x_{y0} och x_{z0} .

$$x_{y0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y + \frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y^2 + 4a_y^2}}{2a_y^2} \quad \text{för } \gamma_y = 0,5 \quad (25)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)}{a_z - b_z \left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)} \quad \text{för } \gamma_z = 1 \quad (26)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z + \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z^2 + 4a_z^2}}{2a_z^2} \quad \text{för } \gamma_z = 0,5 \quad (27)$$



$$x_{z0} = \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp} a_z} \text{ för } \gamma_z = 0 \quad (28)$$

$$x_{z0} = \frac{\sqrt{1 + \frac{4 \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} (\sqrt{2} - 1) b_z}{a_z} - 1}}{2(\sqrt{2} - 1) b_z} \text{ för } \gamma_z = -0,5 \quad (29)$$

σ_{y0} och σ_{z0} är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån riktlinjerna i avsnitt B.1.3.

B.1.4. BLEVE

En BLEVE ger upphov till ett stort eldklot och beräknas med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$D = 6,48m^{0,325} \quad (30)$$

$$t_{BLEVE} = 0,825m^{0,26} \quad (31)$$

$$F_{21} = \frac{D^2}{4X^2} \quad (32)$$

$$\tau = 2,02(p_w X)^{-0,09} \quad (33)$$

$$q_r = \frac{X_E m \Delta h_c}{\pi D^2 t_{BLEVE}} \quad (34)$$

$$q_x = \tau q_r F_{21} \quad (35)$$

där

- D = Eldklotets diameter, m.
- m = Utsläppt massa brännbar vätska, kg.
- t_{BLEVE} = Eldklotets varaktighet, s.
- F_{21} = Synfaktor
- X = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.
- τ = Andel av strålningen som transmitteras genom luften.
- p_w = Vattens ångtryck, Pa
- q_r = Avgiven strålning, kW/m².
- X_E = Strålningsandel.
- Δh_c = Förbränningsvärme, kJ/kg.
- q_x = Mottagen strålning, kW/m².

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt B.2.3. Sedan har eldklotets radie lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.



B.1.5. Jetflamma

Jetflamman är en "svetslåga" som uppkommer vid direkt antändning av en kondenserad brandfarlig gas. Följande ekvationer används för att beräkna riskavståndet vid en jetflamma.

$$R_{s,50} = 1,9t^{0,4}Q^{0,47} \quad (36)$$

där

- $R_{s,50}$ = Riskavstånd till 50 % dödlighet, m.
- t = Exponeringstid vid strålningspåverkan, s.
- Q = Utsläppets källstyrka, kg/s (se avsnitt B.1.2).

B.1.6. Pölbrand

Strålningen från en pölbrand kan beräknas med nedanstående ekvationer.

$$Q = \dot{m} \Delta h_c A_p \quad (37)$$

$$q_r = X_e Q \quad (38)$$

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi X^2} \quad (39)$$

$$q_x = \tau q_r F_{12} \quad (40)$$

där

- Q = Brandens effekt, kW.
- \dot{m} = Förbränningshastighet per ytenhet, kg/s/m².
- Δh_c = Förbränningsvärme, kJ/kg.
- A_p = Pölens area, m².
- q_r = Avgiven strålning, kW/m².
- X_e = Strålningsandel.
- F_{12} = Synfaktor.
- X = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.
- q_x = Mottagen strålning, kW/m².
- τ = Andel av strålningen som transmitteras genom luften, se avsnitt B.1.4.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt B.2.3. Sedan har pölens diameter lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

B.1.7. Stänk

Frätande ämnen kan orsaka svåra skador och dödsfall om det finns personer i tankens omedelbara närhet vilka får stänk över sig. Det finns inga kvantitativa modeller för att



uppskatta effekterna av stänk med frätande vätska, utan det antas att människor som befinner sig inom 10 meter från tanken utsätts för dödliga skador.

B.2. Indata

B.2.1. Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden har betydelse när konsekvenserna av utsläpp av gaser (brännbara eller giftiga) ska bedömas. I Tabell 11 redovisas de värden som använts vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 11. Dimensionerande väder- och vindförhållanden.

STABILITETSKLASS	SANNOLIKHET	VINDHASTIGHET (MEDELVÄRDE)
Instabil	10 %	1,7 m/s
Neutral	50 %	4,4 m/s
Stabil	40 %	2,4 m/s

B.2.2. Ämnesspecifika data

I nedanstående tabeller ges väsentliga indata, vilka är de samma som använts i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer²¹.

Tabell 12. Generella indata till konsekvensberäkningarna.

VARIABEL	ENHET	VÄRDE
Atmosfärstryck	[Pa]	101 325
Flödeskoefficient	[-]	Likformig (0,65;0,80)
Höjd på vätskepelare	[m]	Likformig (1,0;2,0)

Tabell 13. Fördelning av hålstorlek. Källstyrkan avser utsläpp av gasol.

HÅLTYP	HÅLDIAMETER	KÄLLSTYRKA	SANNOLIKHET
Litet	10 mm	1 kg/s	62,5 %
Medel	30 mm	12 kg/s	20,8 %
Stort	110 mm	160 kg/s	16,7 %

Sannolikheten för de olika hålstorlekarna kommer från Räddningsverket²², medan de olika hålstorlekarna bygger på uppskattningar från bland annat Cox²³ och CPQRA²⁴.

Tabell 14. Ämnesspecifika indata.

VARIABEL	ENHET	PROPYLENOXID	DIMETYSULFAT	SVAVELDIOXID	GASOL	BENSIN
Molvikt	[g/mol]	58,1	126	64	76,53	
Densitet vätska	[kg/m ³]	830	1330	1460	605	750
Utsläppt mängd	[ton]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25

²¹ Länsstyrelsen i Skåne län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

²² Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

²³ Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L., *Classification of Hazardous Locations*, ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990.

²⁴ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.



VARIABEL	ENHET	PROPYLENOXID	DIMETYLSULFAT	SVAVELDIOXID	GASOL	BENSIN
Förbränningsvärme	[kJ/kg]	34 845	-	-	46 000	45 000
Strålningsandel	[-]	0,30	-	-	0,30	0,30
Ångtryck	[kPa]	60	0,067		833	
Kokpunkt	[°C]	34	188			
Tanktryck	[kPa]			230	535	
Förbränningshastighet	[m/s]					0,0001
Förbränningshastighet	[kg/m ² /s]					0,048

Trotyl, vilket är det representativa ämnet för explosioner i ADR/RID-klass 1 och ADR/RID-klass 5 har ett värmevärde på 4,2 MJ/kg och den massa som deltar i explosionen är hämtad från HMSO²⁵ och antar en fördelning enligt Tabell 15 nedan och gäller för både väg och järnväg.

Tabell 15. Massa som deltar i explosion i ADR/RID-klass 1.

MASSA, KG	ACK. SANNOLIKHET	MASSA, KG	ACK. SANNOLIKHET
50	1,1 %	1 047	21,4 %
61	1,2 %	1 095	22,3 %
126	1,2 %	1 778	86,5 %
204	3,8 %	2 399	86,8 %
316	20,8 %	16 000	100,0 %
562	21,3 %		

Vid en olycka med ADR-klass 5 på väg kan lasten blandas med fordonets egna drivmedel, vilket antas ha ett medelvärde på 400 kg och ett minsta respektive ett största värde på 100 respektive 500 kg. En explosiv oxidator-bränsleblandning innehåller cirka 13 % bränsle, vilket för 400 kg drivmedel ger $400/0,13 = 3\,080$ kg explosiv blandning²⁶.

B.2.3. Skadekriterier

Riskanalysen berör skador på människor och de skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck som används redovisas i Tabell 16 nedan. Skadekriterierna representerar LC₅₀-värden, det vill säga den koncentration där 50 % av en population förväntas omkomma, vilka beräknats med probitfunktion för angiven exponeringstid.

²⁵ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

²⁶ Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilaga 2, 1997.



Tabell 16. Skadekriterier för giftiga gaser, värmestrålning²⁷ och tryck.

SKADEVERKAN	KRITISK PÅVERKAN
Explosion – tryck ²⁸	260 kPa
Explosion – värmestrålning ²⁹	43 kW/m ²
Värmestrålning – BLEVE ²⁹	31 kW/m ²
Värmestrålning – brandfarliga varor ²⁹	14 kW/m ²
Toxicitet – giftig gas ³⁰	2 200 mg/m ³ (860 ppm)
Toxicitet – lättflyktig, giftig vätska ³¹	4 900 mg/m ³ (2 000 ppm)
Toxicitet – giftig vätska ³²	186 mg/m ³ (35 ppm)

B.3. Resultat

Modeller, indata, skadekriterier samt väder- och vindförhållanden används för att beräkna konsekvensen av ett utsläpp. Konsekvensen antas inträffa i det område där koncentrationen, trycket eller värmestrålningen överskrider ett visst gränsvärde för dödlighet. Gränsvärdet för dödlighet bestäms av den påverkan som bedöms orsaka en dödlighet på 50 % av en population. För att avgöra vid vilket avstånd detta inträffar översätts 50 % dödlighet med hjälp av så kallade probitfunktioner till en fysikalisk parameter (toxisk koncentration (LC₅₀) eller kritisk värmestrålning).

Ytterligare en förenkling är nödvändig för att kunna genomföra beräkningarna. Det ansätts att inom området 100 till 50 % dödlighet omkommer alla människor och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Denna förenkling är nödvändig för att kunna ta fram de olika riskmått. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom riskområdet komma att överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt och följer principerna i CPQRA³³. Ytterligare en nödvändig förenkling är att förutsätta att samtliga personer befinner sig oskyddade, i fri siktlinje med olycksplatsen. Då flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar.

B.3.1. Konsekvensområde, enbart skyddsavstånd

I Figur 14 visas konsekvensområdet i form av en statistisk fördelning när olyckans utbredning inte påverkas av någon säkerhetshöjande åtgärd.

²⁷ Strålningsnivåerna gäller oskyddad hud och någon skyddseffekt av kläder har inte tagits hänsyn till vid beräkning av skadekriterierna.

²⁸ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

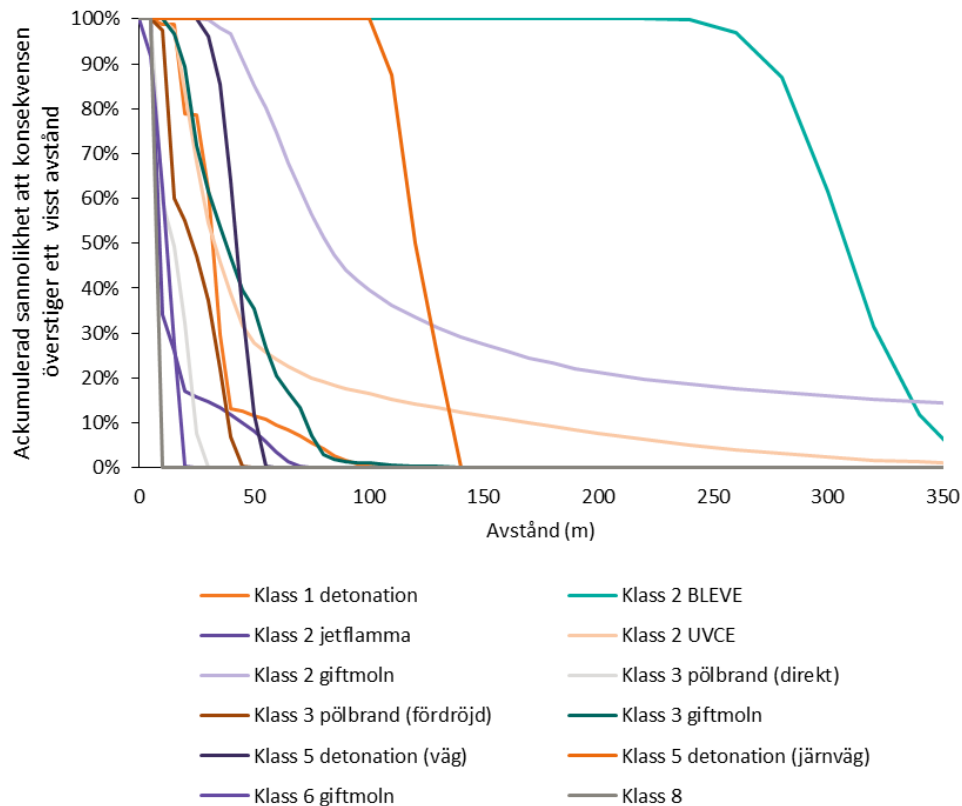
²⁹ Eldklotets varaktighet för explosion är cirka 7 sekunder och för BLEVE cirka 11 sekunder. För värmestrålning från pölbränder gäller en exponeringstid på 30 s. Beräkningar av kritisk strålning sker enligt metodik redovisas i "CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for the prevention of disasters, The Netherlands, 1992".

³⁰ Representeras av svaveldioxid, 30 minuters exponering.

³¹ Representeras av propylenoxid, 30 minuters exponering.

³² Representeras av dimetylsulfat, 30 minuters exponering (TEEL-3).

³³ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.



Figur 14. Konsekvensområde vid olycka med farligt gods. Figuren visar en fördelning av konsekvensområdet vid olyckor av en viss typ. Exempelvis ger en BLEVE alltid ett skadefall som överstiger 240 meter och 10 % av olyckorna som orsakar en BLEVE når 340 meter eller längre.

Informationen i Figur 14 kan översättas till ett medelvärde för olyckan samt med ett konfidensintervall, inom vilket det är 95 % säkerhet att konsekvens inträffar. I Tabell 17 redovisas dessa värden.



Tabell 17. Medelvärde, samt en bedömning av konfidensintervallets övre gräns för de olika olycksscenariernas utbredning.

SCENARIO	RISKOMRÅDE I METER	
	50 %	95 %
Klass 1 detonation → tryck	35	80
Klass 2 BLEVE → brännskada	320	360
Klass 2 jetflamma → brännskada	10	60
Klass 2 UVCE → brännskada	35	260
Klass 2 giftmoln → förgiftning	85	1 000
Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada	15	30
Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada	25	45
Klass 3 giftmoln → förgiftning	40	80
Klass 5 detonation (väg) → tryck	45	55
Klass 5 detonation (järnväg) → tryck	120	140
Klass 6 giftmoln → förgiftning	15	20
Klass 8 → frätskada	10	10

Syftet med Tabell 17 är endast att beskriva spridningen i konsekvensens utbredning på ett tydligare sätt. Störst avvikelse från medelvärdet (50 %) har olyckor som medför spridning till luft (UVCE och giftmoln). Detta beror på att koncentrationen i en given punkt kan variera mycket beroende på källstyrka, vindhastighet och atmosfärsförhållanden.

C. Risknivåer

C.1. Individrisk

Nedan följer en översiktlig beskrivning av den metodik som används för att kombinera frekvenser och konsekvenser till ett mått på individrisken.

Modellen för olyckor på väg tar hänsyn till vägområdets bredd och dess påverkan på olyckors placeringar. För en smal väg så som en vanlig landsväg antas alla olyckor inträffa i körbanekanten närmast planområdet. Om vägbredden är större än 10 meter antas hälften av olyckorna inträffa i körbanekanten närmast planområdet, och den andra hälften i mitten av vägen. En bredare väg förskjuter olyckorna i vägens mitt längre bort från den närmaste körbanekanten.

Olyckor med farligt gods

Frekvenserna för respektive scenario finns angivna i avsnitt A. Dessa frekvenser kombineras med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i avsnitt B och sannolikheten att ett område påverkas från avsnitt A. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt C.1.1 och C.1.2.

C.1.1. Sannolikheten att en olycka når en viss punkt som en funktion av avståndet från transportleden

I avsnitt B redovisas sannolikhetsfördelningar för respektive olycksscenario och samt en faktor för att korrigera olycksfrekvensen per km till den faktiska påverkan på ett visst avstånd från transportleden. Denna information kombineras genom korsvis multiplikation för att ta kunna ta fram en sannolikhetsfördelning som en funktion av avståndet från transportleden, vilken sedan används i riskberäkningarna.



C.1.2. Beräkning av individrisk

Individrisken beräknas med en upplösning om 5 meter, det vill säga beräknas var femte meter från väggkanten genom att multiplicera olycksfrekvensen för en olycka med en viss ADR/RID-klass med sannolikheten för att en olycka sker på en sträcka av 1 km när ett visst avstånd. För att ta fram den sammanlagda individrisken adderas slutligen individrisken för vart olycksscenario på alla studerade avstånd och ritas ut i ett individrisk-diagram i huvudrapporten.

D. Diskussion om modell och indata

Riskanalysen utförs med en analysteknik som bygger på en omfattande och detaljerad hantering av den variation och osäkerhet som kan förknippas med riskbedömningar. Metodiken följer det arbetssätt som använts för underlaget till Länsstyrelsens i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM) och i de fall där specifika indata saknas har värden, fördelningar och annan betydelsefull information hämtats från RIKTSAM.

D.1. Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna konsekvenser av olyckor bygger i huvudsak på information som finns tillgänglig i den så kallade FOA-handboken³⁴. I stort är det samma modeller som RIKTSAM bygger på, med undantag av vissa förbättringar. Bland annat modelleras utsläpp av giftiga gaser med både jet- och tunggassteg, vilket RIKTSAM inte gör. Detta ger mer realistiska (och längre) konsekvensområden i föreliggande riskanalys.

D.1.1. Indata

Val av indata har stor betydelse för konsekvensberäkningarna och i många fall är indata förknippade med stor variation eller osäkerhet. Indata där variationen spelar roll är exempelvis väder- och vindförhållanden och indata som är förknippad med stor osäkerhet är till exempel hålstorlek vid utsläpp.

Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden baseras på generisk statistik för Sverige. Statistiken gör det möjligt att ta fram diskreta sannolikhetsfördelningar för atmosfärens stabilitet och kontinuerliga fördelningar för vindhastigheten för respektive stabilitetsklass.

Generella indata och ämnesspecifika uppgifter

Exempel på generella indata är flödeskoefficienter och höjd på vätskepelare (i tanken), samt de hålstorlekar som kan uppkomma vid en olycka. Hålstorlekarna är de samma som i RIKTSAM, med sannolikheter från VTI³⁵:

- Litet hål (62,5 %), 10 mm diameter, 1 kg/s.
- Medelstort hål (20,8 %), 30 mm diameter, 12 kg/s.
- Stort hål (16,7 %), 110 mm diameter, 160 kg/s.

³⁴ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

³⁵ Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarioer vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, rapport nr 387:4, 1994.



Dessa hålstorlekar är betydligt större än de som redovisas av Räddningsverket³⁶ där håldiametrar på 3, 9 respektive 31 mm används, vilket ger källstyrkor på 0,1–20 kg/s. En brittisk studie³⁷ använder 2 respektive 35 kg/s i sina beräkningar.

Konsekvensområdet för pölbränder bestäms i huvudsak av antagen hålstorlek och till viss del av antagen strålningsandel. Hålstorleken har drygt 5 gånger så stor påverkan på resultatet i jämförelse med strålningsandelen.

Det är tre variabler som har störst betydelse för konsekvensområdet för gasutsläpp som driver i väg med vinden – hålstorleken, vindhastigheten och stabilitetsklassen. Variablernas inbördes betydelse är 6,5 - 1,6 - 1, vilket innebär att det är hålstorleken som dominerar konsekvensområdets storlek. Kunskapsunderlaget för val av källstyrkor är sparsamt, men valda värden är konservativa i förhållande till andra modeller och riktlinjer.

Skadekriterier

Risakanalysen berör skador på människor och använder olika skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck. Konsekvensområdet bestäms av avståndet från utsläppskällan till en punkt där en dödlighet på 50 % inträffar. En förenkling som görs i enlighet med metodik redovisad i CPQRA³⁸ är att anta att alla människor omkommer inom området 100 till 50 % dödlighet och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom konsekvensområdet överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt.

Den exponering som ger 50 % dödlighet kallas även för LC₅₀-värde. LC₅₀-värdet kan bestämmas med kännedom om exponering och tid. CPR 18E³⁹ har använts som inspiration för de exponeringstider som används, vilka är 30 minuter för giftig gas och 30 sekunder för brännskada.

D.2. Slutsatser

De variabler som påverkar riskbedömningen mest är utsläppets källstyrka (hålstorlek), vindhastighet och atmosfärens stabilitet. De två sistnämnda variablerna har bestämts med hjälp av generell väderstatistik och bedöms vara robusta i sammanhanget. Källstyrkan bygger på antaganden med ett relativt begränsat kunskapsunderlag. I föreliggande riskanalys används dock källstyrkor som klart överstiger värden som går att finna i andra vägledningarna och rekommendationer. Rekommendationerna i rapporten bedöms vara tillräckligt robusta inte nödvändiga att justera.

E. Säkerhetshöjande åtgärder

E.1. Skydd mot brandspridning

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmen från dessa bränder är intensiv samtidigt som den avtar exponentiellt med avståndet. Strålningsnivån ska understiga det värde på 14 kW/m² som ger upphov till 2:a

³⁶ Räddningsverket, *Farligt gods – riskbedömning vid transport*, 1996.

³⁷ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

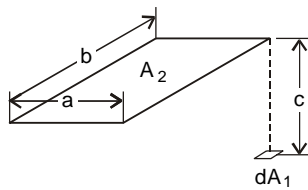
³⁸ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.

³⁹ TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.



gradens brännskador respektive det värde på 15 kW/m^2 som ger brandspridning till byggnader⁴⁰.

För att kunna bedöma på vilket avstånd som det finns risk för brandspridning görs beräkningar av värmestrålning för en dimensionerande pölbrand⁴¹ på 200 m^2 , vilket ger en flamma som är 21 meter hög och 16 meter bred. Utgående strålning från branden är 43 kW/m^2 och för att brandspridning/brännskador inte ska ske måste synfaktorn understiga 0,33. Synfaktorn understiger detta värde på cirka 15 meters avstånd från branden. Beräkningarna redovisas nedan och gäller för motstående ytor (fasader parallella med spårområdet). Notera att avståndet (c) är det som söks för att synfaktorn (F_{d1-2}) inte ska överstiga 0,33.



$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{\sqrt{a^2 + c^2}} \right) + \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{\sqrt{b^2 + c^2}} \right) \right]$$

$$a/2 = 8 \text{ m}$$

$$b/2 = 10,5 \text{ m}$$

$$c = 15 \text{ m}$$

$$4 \times F_{d1-2} = 4 \times 0,079 = 0,32$$

Beräkningarna ovan visar att ett skyddsavstånd på 15 meter är tillräckligt för att undvika brandspridning och brännskador. Men, då avståndet ska mätas från pölens närmaste kant mot byggnaden uppstår några osäkerheter. Det är rimligt att anta att pölen breder ut sig mot planområdet och dess diameter är i storleksordningen 15 meter. Om byggnader inom 30 meter från transportleden skyddas mot brandspridning fås ett skydd som är tillfredsställande i de allra flest fall. Om det finns förutsättningar för att begränsa spridningen av vätskor kan ett skyddsavstånd på 20 meter från kanten där vätskor bromsas upp. Exempel på detta är mitten på ett dike, nedre kanten på en vall eller kanten hos en mur som vetter mot transportleden.

E.2. Högt placerade luftintag

Många av de giftiga gaser som transporteras på väg är så kallade tunga gaser, vilket betyder att de har högre densitet än den omgivande luften och sprider ut sig längs marknivån. Efterhand som att gasmolnet blandas upp med luft minskar densiteten och till slut är densitetsskillnaden mellan omgivande luft och molnet försumbar. I avsnitt B.1.3 beskrivs flödesschemat för spridning i luft. Det så kallade tunggassteget har i 90 % av fallen en räckvidd på mindre än 200 meter, vilket medför att en säkerhetshöjande åtgärd som högt placerade luftintag i teorin kan vara effektiv för att minska hur mycket gas som kommer in i en byggnad.

Med hjälp av modellen "Spridning Luft", version 1.4.3 tillgänglig via programpaketet RIB som ges ut av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, undersöks hur koncentrationen varierar i höjdlid på tre avstånd (40, 80 samt 120 meter från utsläppspunkten). Tre olika höjder studeras (2, 8 och 14 meter ovan mark), vilka är representativa för byggnader med varierande våningsantal. Beräkningarna utförs för stabilitetsklass D och en vindhastighet på 5

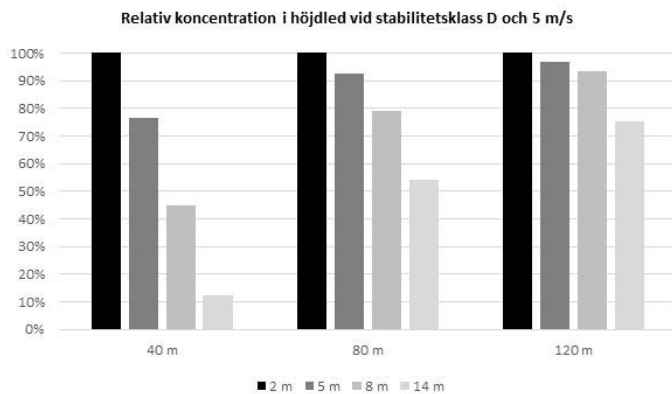
⁴⁰ Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader, BBRAD3, BFS 2011:27 med ändringar t.o.m. 2013:12.

⁴¹ Brandens yta på 200 m^2 motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, cirka 20 m^3 , resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på $0,1 \text{ kg/m}^2\text{s}$, vilket ger en effektutveckling på cirka 370 MW för en pöl på 200 m^2 .

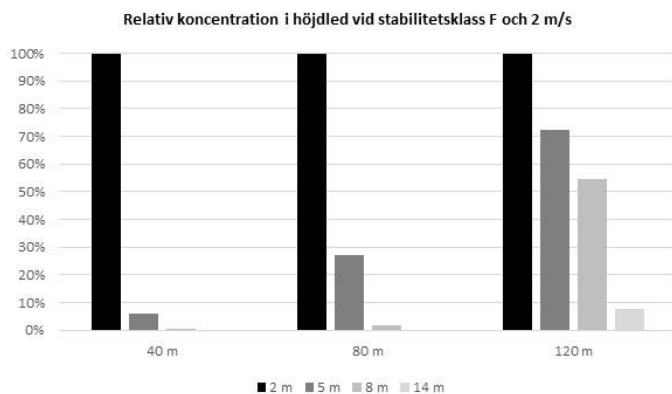


m/s samt för stabilitetsklass F och en vindhastighet på 2 m/s. Gasen utgörs av svaveldioxid och källstyrkan 4,0 kg/s motsvarar ett rörbrott.

Resultatet redovisas i Figur 15 och Figur 16 där koncentrationen 2 meter ovan mark utgör ett referensfall och det värde som övriga resultat normeras mot. Ett värde större än 100 % innebär att koncentrationen på den studerade höjden är högre än den för referensfallet och ett värde på mindre än 100 % innebär att koncentrationen är lägre än referensfallet.



Figur 15. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass D och 5 m/s.



Figur 16. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass F och 2 m/s.

Båda figurerna visar att högt placerade luftintag skulle ge en påtaglig minskning av koncentrationen inomhus vid ett utsläpp med giftig gas. Effekten blir större ju närmre utsläppspunkten som byggnaden är placerad och ju högre luftintaget är placerat. Men, det är framför allt aktuella väder- och vindförhållanden som styr. Vid stabil skiktning så trycks gasmolnet ner mot marken av den ovanliggande luften, vilket ger mindre utblandning i höjded. För detta fall har luftintagets placering mycket stor betydelse inom hela riskhanteringsområdet. Sammanfattningsvis ger en placering av luftintag på cirka 8 meters höjd ovan mark möjlighet till en påtaglig riskminskning.