



Kund: Mariestads kommun

Projekt: Riskutredning Vätgasanläggning Mariestad, del av Leksberg 10:1

Projektnummer: 214534

Riskutredning

Handläggare
Oscar Lindén
Telefon
010-505 84 94
Mobil
0730-74 87 74
E-post
oscar.linden@afry.com

Datum
2022-06-02
Projekt ID
214534
Beställare
Adam Johansson
E-post
Adam.johansson@mariestad.se

Riskutredning Vätgasanläggning Mariestad, del av Leksberg 10:1

Uppdragsledare/Handläggare: Oscar Lindén
Intern kvalitetsgranskning: Sohrab Nassiri

Riskutredning

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------|----|
| 1 | Inledning..... | 6 |
| 1.1 | Bakgrund och syfte | 6 |
| 1.2 | Avgränsningar | 6 |
| 2 | Metod | 7 |
| 2.1 | Programvara | 7 |
| 2.2 | Styrande lagstiftning och riktlinjer | 8 |
| 2.2.1 | Riktlinjer för byggnation av ny drivmedelstation..... | 8 |
| 2.3 | Kvantitativa riskmått..... | 10 |
| 2.3.1 | Individrisk | 10 |
| 2.3.2 | Samhällsrisk..... | 10 |
| 2.4 | Riskvärdering | 11 |
| 3 | Skyddsvärda objekt | 13 |
| 4 | Beskrivning av planområde | 13 |
| 4.1 | Persontäthet | 14 |
| 4.1.1 | Förutsättningar persontäthet..... | 14 |
| 5 | Riskobjekt | 16 |
| 5.1 | Beskrivning vätgasanläggning..... | 16 |
| 5.2 | Riskidentifiering..... | 17 |
| 5.3 | Sammanfattning olycksscenario | 18 |
| 6 | Riskanlys | 19 |
| 6.1 | Individrisk | 19 |
| 6.2 | Samhällsrisk | 21 |
| 7 | Kvalitativ osäkerhets- och känslighetsanalys..... | 22 |
| 7.1 | Känslighetsanalys | 22 |
| 7.2 | Osäkerhetsanalys..... | 22 |
| 8 | Riskbedömning och rekommendationer..... | 24 |
| 8.1 | Rekommendationer | 24 |
| 8.1.1 | Disposition av markanvändning | 24 |
| 8.1.2 | Planerad fysisk skyddsbarriär | 24 |
| 9 | Slutsatser..... | 26 |
| 10 | Referenser..... | 27 |

Beräkningsbilaga

Riskutredning

Dokumenthistorik

| Revision | Status | Datum |
|-----------------|---------------|--------------|
| 1 | Rapportutkast | 2022-06-02 |

Riskutredning

Sammanfattning

I Mariestads kommun pågår en detaljplaneprocess som syftar till att utveckla del av fastigheten Leksberg 10:1 i stadsdelen Haggården i Mariestad. Markanvändningen utgörs idag av åkermark, men den nya detaljplanen kommer medge byggnation av handelsområde, kontor, hotell och snabbmatsrestauranger. Vid detaljplaneområdet ligger en befintlig solcellsanläggning som förser en närliggande elektrolysanläggning med elektricitet för produktion av vätgas. I föreliggande utredning analyseras personriskerna för befintlig och planerad framtida placering av vätgasproduktion och tankningsstation.

- Det kan konstateras att högre risknivåer erhålls vid vätgasproduktionen än vid tankningsstationen.
- Riskberäkningarna visar att risknivån är högre vid befintlig placering av vätgasanläggningen då alla riskkällor är närmre varandra, vilket medför att risken blir mer koncentrerad till en punkt. Avståndet till ALARP-nivån blir därav längre (ungefär 65 meter) för den befintliga placeringen av vätgasanläggningen.
- För den framtida placeringen blir avstånden kortare (50 meter till ALARP från produktion och 40 meter till ALARP från tankning) även om en viss förskjutning av ALARP-området sker västerut till följd av den nya placeringen.
- Beräkningar visar på att samhällsrisknivån hamnar helt inom det acceptabla området för båda lokaliseringalternativ. Inga ytterligare åtgärder bedöms behövas ur samhällsriskperspektiv givet det i beräkningarna inkorporerade säkerhetsavståndet.

Sammantaget har följande rekommendationer erhållits i utredningen:

- Första radens bebyggelse (byggnader närmast vätgasanläggningen) utgörs av verksamheter med låg persontäthet, exempelvis sällanköpshandel.
- Minst 50 meter hålls mellan byggnation och närmsta del av vätgasanläggning.
- Kontor och hotell förläggs på 100 meters avstånd från närmsta del av vätgasanläggning.
- Den planerade fysiska skyddsbarriären (mur) som ska skydda snabbmatsrestaurangerna mot tryckvågor och värmestrålning bedöms kunna vara motiverad som en proaktiv åtgärd för att inte förhindra en potentiellt framtida utvidgning av restaurangerna.

Givet de föreslagna rekommenderade åtgärderna bedöms acceptabel risknivå erhållas för detaljplanen och markanvändningen bedöms som lämplig.

Riskutredning

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

I Mariestads kommun pågår en detaljplaneprocess som syftar till att utveckla del av fastigheten Leksberg 10:1 i stadsdelen Haggården i Mariestad. Markanvändningen utgörs idag av åkermark, men den nya detaljplanen kommer medge byggnation av handelsområde, kontor, hotell och snabbmatsrestauranger. Vid detaljplaneområdet ligger en befintlig solcellsanläggning som förser en närliggande elektrolysanläggning med elektricitet för produktion av vätgas. Även lagring och tankning av kommunala fordon med vätgas görs på platsen. Detaljplanen antogs först av kommunfullmäktige under hösten 2021 för att senare samma år hävas av Länsstyrelsen i Västra Götalands län med motiveringen att risker avseende människors hälsa och säkerhet inte är tillräckligt utredd med avseende på den intilliggande vätgasanläggningen. Syftet med denna riskutredning är därför att undersöka personrisker kopplat till vätgasanläggningen. Vid behov föreslås åtgärder och planbestämmelser för att reducera riskerna så att en acceptabel risknivå kan erhållas.

1.2 Avgränsningar

Riskanalysen avgränsas till att beakta påverkan på människors hälsa från oavsiktliga olyckor vid produktion, lagring, tankning eller annan hantering av vätgas inom anläggningen. Risker från andra riskobjekt, såsom industrier, transporter med farligt gods eller hanteringen av andra farliga ämnen inom anläggningen har inte beaktats i riskutredningen.

De kvantitativa beräkningarna omfattar olyckor som medför påverkan på människor så att dessa förväntas omkomma. Skador som inte leder till dödsfall undersöks ej. Med olyckor menas i denna rapport händelser som resulterar i en konsekvens där människors hälsa kan påverkas negativt, men där ingen avsikt har funnits från någon ingående aktör att åsamka skada. Händelseförlopp där avsikten är att medvetet skada människor, så kallade antagonistiska händelser, omfattas ej av föreliggande utredning.

Personer som vistas i körande fordon inkluderas ej i analysen.

Vidare tas ingen hänsyn till exempelvis skador på miljön, skador orsakade av långvarig exponering eller materiella skador inom området (om inte dessa i sin tur kan innebära en personrisk).

Det förutsätts att strypventilerna är dimensionerade för att medföra ett utsläpp som inte är antändbart.

Riskutredning

2 Metod

Först sker en **definition av systemet** med bestämning av syfte, mål och avgränsningar för den aktuella riskbedömningen.

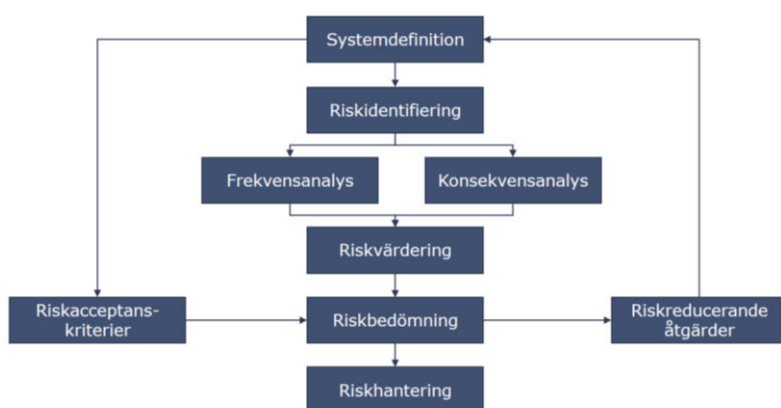
Efter detta steg sker en **riskidentifiering** vilket är en arbetsprocess för att inventera vilka risker som finns inom det studerade systemet samt att definiera de scenarion som ska ligga till grund för vidare riskanalys.

I **frekvensanalysen** bestäms en förväntad årlig frekvens för definierade scenarion. Frekvenser baseras främst på "Purple Book" [1] och andra sammanställningar av statistik för skadehändelser. I **konsekvensanalysen** definieras händelsesträd för valda olycksscenarion. Händelseförloppet från läckaget och bildande av eventuella pölar samt hur gas och ånga kan skapa gasmoln som sprids med vinden beräknas. Konsekvenser i form av värmestrålning från jet- och pölbränder, gasmolnsbrand och -explosion samt spridning av toxiska gasmoln simuleras och resultatet ges av fotavtryck för olika konsekvenser. I konsekvensanalysen ingår även sannolikhetsbedömningar av olika väderscenarion och potentiell antändning av brandfarliga ämnen.

Riskvärderingen görs genom att beräkna sannolikheten att personer omkommer från beräknade händelser. Frekvensanalysen och konsekvensanalysen tillsammans med sårbarhetsmodeller för personer och placering av personer i anläggningen gör det möjligt att beräkna risknivån och göra en värdering i jämförelse med acceptabla nivåer.

Ur jämförelsen med **riskacceptanskriterier** synliggörs sedan behovet av **riskreducerande åtgärder** för att kunna sänka risknivån för de risker som inte uppfyller acceptanskriteriet. Åtgärder som till en låg kostnad och utan andra avsevärda olägenheter minskar risken är oavsett resultatet motiverade.

Riskutredningen är en regelbundet återkommande del av den totala riskhanteringsprocessen där en kontinuerlig implementering av riskreducerande åtgärder görs. Processen åskådliggörs i Figur 2-1 nedan.



Figur 2-1. Riskhanteringsprocessen.

2.1 Programvara

I denna riskutredning har konsekvens- och frekvensberäkningar gjorts med programvaran Riskcurves [2]. Programmet har tagits fram av The Netherlands Organisation for applied

Riskutredning

scientific research (TNO) som är ett oberoende forskningsinstitut. Frekvensberäkningar i föreliggande studie baseras till stor del på de källor som används i Riskcurves [3]. Där dessa frångås nämns detta uttryckligen. Beräkningarnas konsekvensmodelleringar är förankrade i empiri och forskningsdata med en gedigen referenslista. Verktygets fördelar är att olika modeller kan byggas upp och beräknas relativt snabbt. Det är också enkelt att plocka ut relevanta och tydliga resultat i tabeller, grafer och kartbilder.

2.2 Styrande lagstiftning och riktlinjer

I och med den aktualiserade omställningen till gröna drivmedel har efterfrågan på vätgas i Sverige blivit stort på mycket kort tid. Detta medför att lagstiftning, riktlinjer, handböcker och anvisning inte hunnit med i den händelserika utvecklingen. Omfattande arbeten med detta pågår dock på området. Dels håller Energigas Sverige på att ta fram anvisningar för hur tankstationer för vätgasdrivna fordon ska byggas i Sverige, dels håller IPS (Intresseföreningen för processsäkerhet) på att ta fram en handbok i vätgassäkerhet. Riktlinjerna och anvisningarna i dessa texter kommer enligt uppgift att vara tillämpliga för stationen om stationen till exempel ska byggas om eller ska utvidgas i produktion. Däremot är de inte tillämpbara för kommunens detaljplanering runt stationen.

Det finns lagstiftning på nationell nivå som föreskriver att riskanalys ska genomföras, plan- och bygglagen (2010:900) och Miljöbalken (1998:808). I plan- och bygglagen framgår det att bebyggelse och byggnadsverk ska utformas och placeras på den avsedda marken på ett lämpligt sätt med hänsyn till skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser. I miljöbalken anges att när val av plats sker för en verksamhet ska det göras med hänsyn till olägenheter för människors hälsa och miljön. Det anges i lagtext inte i detalj hur riskanalyser ska genomföras och vad de ska innehålla. Länsstyrelsen i Stockholms län har tagit fram en riktlinje för "nyetablering vid drivmedelsstation eller byggnation av ny drivmedelsstation". Riktlinjen beskrivs kortfattat i avsnitt 2.2.1.

2.2.1 Riktlinjer för byggnation av ny drivmedelstation

Rapporten *Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer* är författad av Länsstyrelsen i Stockholms län år 2000, men den bedöms vara tillämplig även i detta fall. Detta eftersom någon annan typ av liknande eller nyare riktlinjer avseende markanvändning och drivmedelstationer saknas.

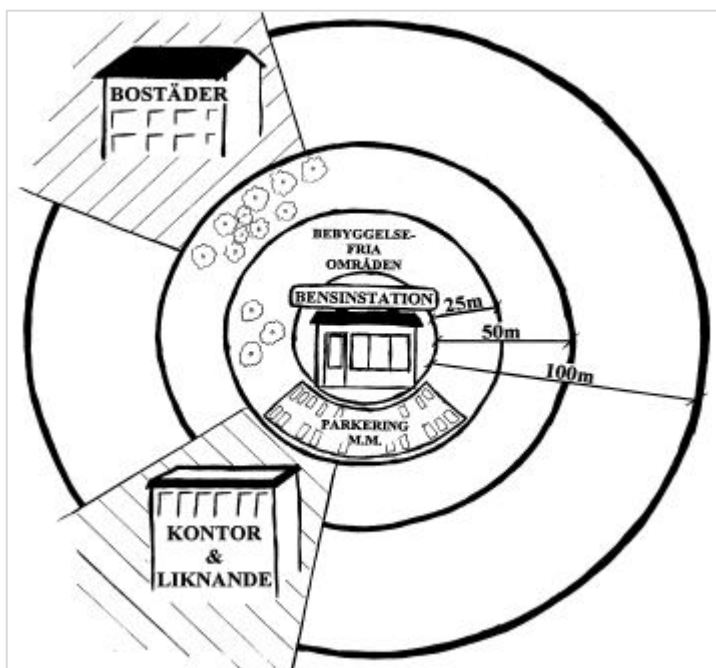
I rapporten anges att om bebyggelse eller verksamheter planeras inom 100 meter från en drivmedelstation ska en riskutredning tas fram. Under speciella omständigheter som kan innebära en förhöjd riskbild från drivmedelstationen kan även längre avstånd än 100 meter komma att beaktas. I rapporten finns också ett antal rekommendationer/riktlinjer avseende skyddsavstånd från hantering av brandfarlig vätska och fordonsgas (metan). Relevanta angivelser återges ordagrant nedan [4]:

- Inom 100 meter från en bensinstation med medelstor försäljningsvolym ska alltid risksituationen och olägenheterna för människor och miljö analyseras och bedömas.
- I nyplaneringsfallet (ny bebyggelse eller ny bensinstation) bör alltid ambitionen vara att hålla ett avstånd på 100 meter från bensinstationen till bostäder, daghem, ålderdomshem och sjukhus. Detta avser en station med medelstor försäljningsvolym av fordonsbränsle.
- Ur både risk-, miljö- och hälsoskyddssynpunkt bör ett minimiavstånd på 50 meter alltid hållas från bensinstation till bostäder, daghem, ålderdomshem och sjukhus samt samlingsplatser utomhus där oskyddade människor uppehåller sig (t.ex. uteservering, lekplats m.m.).

Riskutredning

- Personintensiva verksamheter bör inte lokaliseras närmare än 50 meter från en station om de ska inrymma människor som kan ha svårt att snabbt genomföra en utrymning men också med hänsyn till luftföroreningarnas långsiktiga påverkan på människor.
- Om försäljning av biogas sker eller kan komma att ske i framtiden krävs oftast ett längre skyddsavstånd än för bensin. Vid ny bebyggelse som rymmer svårutrymbara lokaler ska ett avstånd på minst 100 meter hållas.
- Byggnad bör med hänsyn till brand- och explosionsrisk (oberoende av försäljningsvolym för fordonsbränsle) inte uppföras inom ett avstånd av 25 meter från:
 1. Tankfordonets lossningsplats.
 2. Avluftningsanordningar från bensincistern.
 3. Tankställe där fordon tankas (pump).

I Figur 2-2 sammanfattas minimiavstånden i för bebyggelse i närheten av drivmedelstationer.



Figur 2-2. Minimiavstånd kring drivmedelstationer [4]

Även om både vätgas och fordonsgas är lätta och brandfarliga gaser omnämns inte vätgas specifikt i riktlinjen. Därtill skiljer sig ämnena åt vad gäller bland annat antändnings sannolikhet, benägenhet att explodera i det fria, energiinnehåll per volym och per vikt. Av dessa anledningar kan det vara svårt att dra några specifika slutsatser om förhållningssätt och avståndsregleringar för nybyggnation vid vätgasstationer.

Om avståndsangivelser i riktlinjen avseende fordonsgas kombineras med riskbaserade beräkningsresultat om individrisk och samhällsrisk (se avsnitt 2.3) kan en ansats emellertid göras för att bedöma rimliga avstånds- och åtgärdsrekommendationer.

Riskutredning

2.3 Kvantitativa riskmått

Inom samhällsplanering kan kvantitativ riskanalys användas om riktlinjer liknande de som beskrivs ovan inte finns eller om sådana riktlinjer på något sätt frångås. En kvantitativ riskanalys brukar innebära att två olika riskmått beräknas och sedan jämförs med vedertagna kriterier. Riskmåttarna är individrisk och samhällsrisk. Riskmåttarna skiljer sig på så sätt att individriskkriterier syftar till att säkerställa att enskilda individer inte utsätts för oacceptabla risker. Samhällsrisk å andra sidan syftar till att säkerställa att ett område (allt ifrån ett bostadsområde till samhället i stort) som en helhet inte utsätts för oacceptabla risker.

2.3.1 Individrisk

Med individrisk avses sannolikheten (frekvensen) att en hypotetisk och oskyddad individ som kontinuerligt befinner sig på en plats ska omkomma på ett visst avstånd från ett riskobjekt, ofta utomhus [5]. Individrisken är rättighetsbaserad och tar ingen hänsyn till hur många individer som kan påverkas av skadehändelsen. Med rättighetsbaserad menas att alla individer har den personliga rättigheten att inte behöva utsättas för orimlig risk att omkomma.

Individrisken beräknas enligt:

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i} \quad \text{formel 1a, 1b}$$

$$IR_{x,y,i} = f_i * p_{f,i}$$

Där f_i är frekvensen för sluhändelsen i . $p_{f,i}$ är sannolikheten för studerad konsekvens. Den antas, enligt ovan, till 1 eller 0 beroende på om individen befinner sig inom eller utanför effektzonen. Genom att summerna individrisken för de olika sluhändelserna på olika avstånd från riskobjektet, kan individrisken för området presenteras.

2.3.2 Samhällsrisk

För samhällsrisk beaktas, förutom frekvenserna, även hur stora konsekvenserna kan bli med avseende på antalet individer som omkommer vid olika skadescenarier. Då beaktas personbelastningen inom det aktuella området, i form av persontäthet. Till skillnad från vid beräkning av individrisk tas även hänsyn till eventuella tidsvariationer, som t.ex. att persontätheten i området kan vara hög under en begränsad tid på dygnet eller året. Samhällsrisken är ej rättighetsbaserad, utan utgår istället ifrån hur mycket sammanlagd risk ett samhälle kan tolerera.

Samhällsrisken beräknas enligt formel 2 nedan.

$$N_i = \sum_{x,y} P_{x,y} * p_{f,i} \quad \text{formel 2}$$

N_i står för antalet människor som utsätts för den studerade sluhändelsen i . $P_{x,y}$ är antalet individer i punkten x, y och $p_{f,i}$ definieras enligt individrisken ovan.

Samhällsrisken redovisas normalt i F/N-kurvor.

$$F_N = \sum_i F_i \quad \text{för alla sluhändelser } i \text{ för vilka } N_i \geq N \quad \text{formel 3}$$

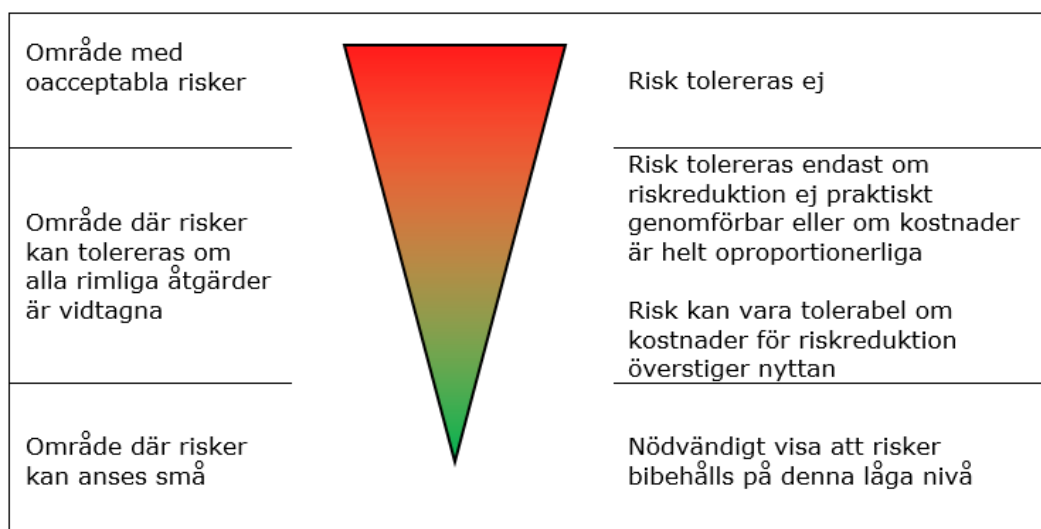
Riskutredning

F_N står för frekvensen av sluthändelser som påverkar N eller fler människor.

F_i är frekvensen för sluthändelse i . N_i definieras enligt ovan.

2.4 Riskvärdering

För att begreppen individ- och samhällsrisk ska få någon betydelse måste dessa ställas i relation till kriterier för acceptabel risk. I Sverige finns inget nationellt beslut om vilka kriterier som ska tillämpas vid riskvärdering inom planprocessen. Det Norske Veritas (DNV) tog, på uppdrag av Räddningsverket, fram förslag på riskkriterier [5] gällande individ- och samhällsrisk, som kan användas vid riskvärdering. Riskkriterierna berör liv, och uttrycks vanligen som frekvensen med vilken en olycka med given konsekvens ska inträffa. Risker kan kategoriskt indelas i tre grupper; tolerabla, tolerabla med åtgärd eller ej tolerabla, se Figur 2-3.



Figur 2-3. Princip för värdering av risk [5].

Följande förslag till tolkning föreslås:

- Risker som klassificeras som oacceptabla värderas som oacceptabelt stora och tolereras ej. För dessa risker behöver mer detaljerade analyser genomföras och/eller riskreducerande åtgärder vidtas där den riskreducerande effekten verifieras.
- De risker som bedöms tillhöra den andra kategorin värderas som tolerabla om alla rimliga åtgärder är vidtagna. Risker i denna kategori ska behandlas med ALARP-principen (As Low As Reasonably Practicable). Risker som ligger i den övre delen, nära gränsen för oacceptabla risker, tolereras endast om nyttan med verksamheten anses mycket stor, och det är praktiskt omöjligt att vidta riskreducerande åtgärder. I den nedre delen av området bör kraven på riskreduktion inte ställas lika hårda, men möjliga åtgärder till riskreduktion ska beaktas. Ett kvantitativt mått på vad som är rimliga åtgärder kan erhållas genom kostnads-/nyttoanalys (CBA).
- De risker som kategoriseras som små kan värderas som acceptabla. Det är dock viktigt att visa att riskerna kommer fortsätta att vara acceptabla, att riskhanteringen framöver fortlöper och att åtgärder som kan införas utan kostnad också införs.

Riskutredning

Dessa förslag till kriterier för värdering av risk för industrier och transportleder har med tiden blivit vedertagna vid riskutredningar i Sverige. De liknar de kriterier som finns i flera andra länder i Europa. Kriterierna utformas som ett intervall med en övre gräns över vilken risker ej accepteras och en undre gräns under vilken risker är acceptabla. Mellan dessa gränser finns ett intervall som benämns ALARP enligt ovan. Gränserna ska dock inte uppfattas som ett svar på vad samhället faktiskt accepterar utan endast ett exempel på en metod att kvantifiera kriterierna.

För individrisk föreslås följande kriterier [5]:

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

Kriterierna för individrisk avser en hypotetisk oskyddad person utomhus.

För samhällsrisk föreslås följande kriterier [5]:

- 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 anses vara små: $F=10^{-6}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N -kurva: -1

I motsats till individrisk beräknas samhällsrisk med avseende på de personer i undersökt område som faktiskt utsätts för risken.

Även följande fyra vägledande principer är allmänna utgångspunkter för värdering av risk:

Rimlighetsprincipen: Om det med rimliga tekniska och ekonomiska medel är möjligt att reducera eller eliminera en risk ska detta göras.

Proportionalitetsprincipen: En verksamhets totala risknivå bör stå i proportion till den nytta, i form av exempelvis produkter och tjänster, verksamheten medför.

Fördelningsprincipen: Risker bör, i relation till den nytta verksamheten medför, vara skäligt fördelade inom samhället.

Principen om undvikande av katastrofer: Om risker realiserar bör detta hellre ske i form av händelser som kan hanteras av befintliga resurser än i form av katastrofer.

Riskutredning

3 Skyddsvärda objekt

Denna riskutredning fokuserar på oavsiktliga olycksrisker för människors hälsa och säkerhet. Skyddsvärda objekt är personer som vistas inom planerad markanvändning (detaljplaneområde Leksberg 10:1) både i och utanför byggnader.

4 Beskrivning av planområde

Aktuellt planområde är beläget i de sydvästra delarna av Mariestad i stadsdelen Hindsberg, precis norr om väg E20. Öster och nordost om planområdet återfinns ett större handelsområde med betoning på sällanköpshandel.

Markanvändningen inom detaljplaneområdet utgörs idag till största delen av åkermark. Även två befintliga snabbmatsrestauranger och en befintlig solcellspark med tillhörande vätgasproduktion för tankning av kommunala fordon ligger inom planområdet.

Den nya detaljplanen kommer medge byggnation av handelsområde, kontor, hotell och kommer även fortsatt att medge markanvändning för snabbmatsrestauranger och vätgasproduktion. Detaljplanegränserna syns streckade i Figur 4-1 nedan.



Figur 4-1 Översiktligt ortofoto detaljplanegränser.

Riskutredning

4.1 Persontäthet

För att kunna beräkna samhällsrisknivån används områdets persontäthet. Information behövs då gällande hur många och inom vilka delar av området som personer vistas. Även hur ofta eller länge personer förväntas vistas inom det givna området används för beräkning av persontäthet.

Någon exakt disposition av detaljplanen är ännu ej bestämd men en ungefärlig fördelning [6] av markanvändningens ytor presenteras nedan:

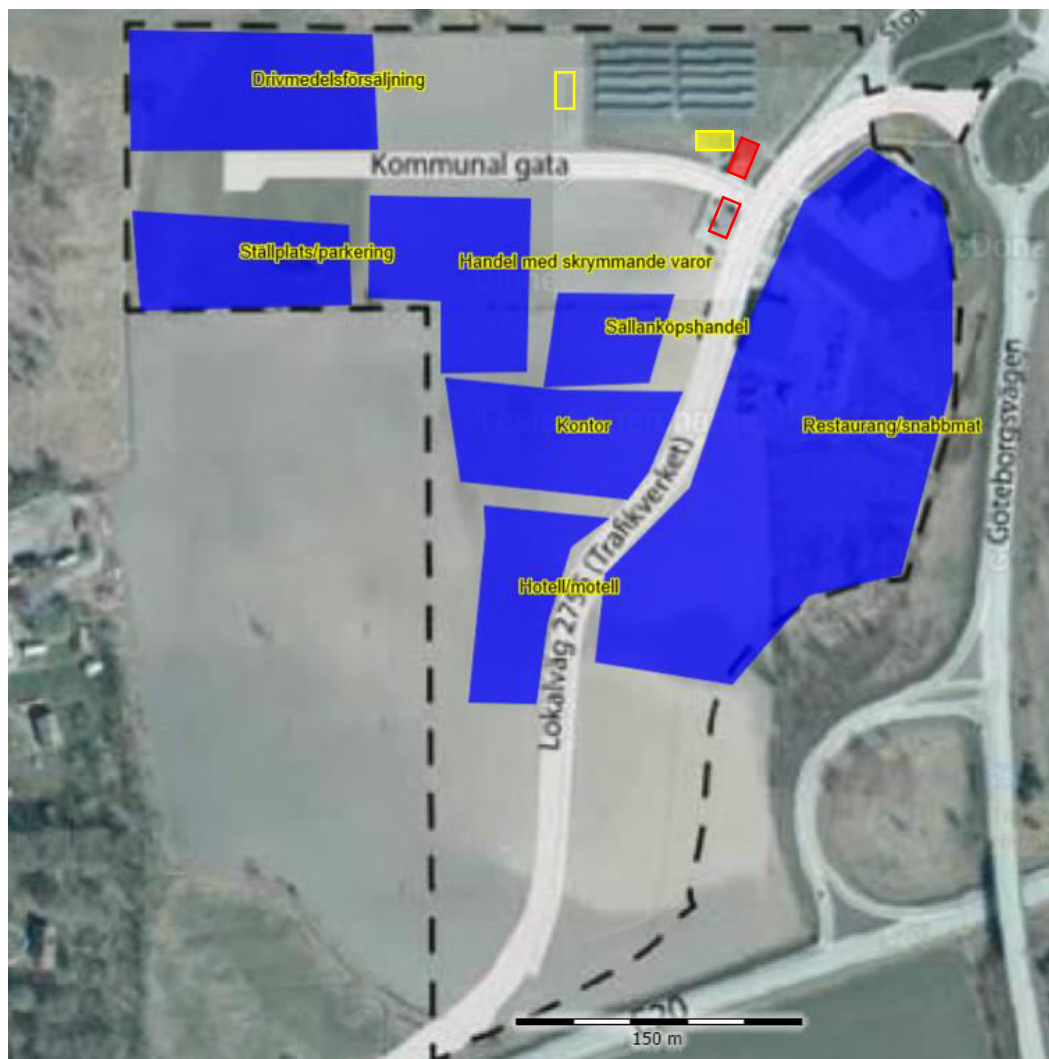
- 40 % restaurang/snabbmat
- 25 % sällanköpshandel
- 10 % handel med skrymmande varor t.ex. bilar, husbilar, båtar, husvagnar, byggvaror
- 10 % drivmedelsförsäljning, bensin, diesel, gas m.m.
- 5 % parkering, ställplats, rastplats
- 5 % hotell, motell
- 5 % kontor

Definitionen av persontätheter görs med hjälp av så kallade befolkningspolygoner i beräkningsverktyget [2]. Dessa definieras i Figur 4-2 Tabell 4-1.

4.1.1 Förutsättningar persontäthet

- Som grundläggande förutsättning har 150 meter hållits till väg E20 då detta avstånd medför att riskhänsyn inte behöver tas till transporter av farligt gods på E20.
- Områden med låg persontäthet har placerats närmast vätgasanläggningen och erhåller ett minsta avstånd om 50 meter från vätgasanläggning (både befintlig placering och planerad framtida placering). Undantaget är befintliga snabbmatsrestauranger som av naturliga skäl förläggs på befintligt avstånd.
- *Personbelastningen* för respektive polygon har valts utifrån tidigare genomförd riskanalys avseende väg E20 vars syfte också var att utreda risker för aktuellt planområde [7].
- Storlekarna på befolkningspolygonerna och andelen inomhus/utomhus har matchats mot de presenterade i planbeskrivningen [6].

Riskutredning



Figur 4-2. Definition av befolkningspolygoner. I rött syns befintlig placering av vätgasanläggningarna (produktion ifylld och tankstation ofylld) och i gult syns planerad framtida placering av vätgasanläggningarna. Storlekarna på polygonerna har matchats mot de presenterade i planbeskrivningen [6].

Tabell 4-1: Personbelastning för respektive befolkningspolygon.

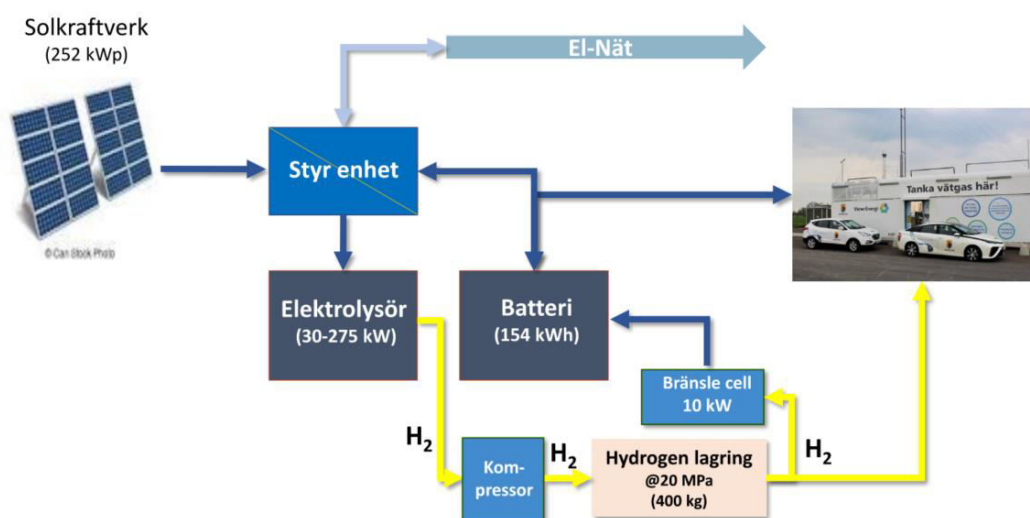
| Befolkningspolygon | Genomsnittlig personbelastning (dag natt) | Fraktion inomhus (dag natt) | Nyttjandegrad |
|-----------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| Handel med skrymmande varor | 8 2 | 0,93 0,99 | 100 % |
| Sällanköpshandel | 27 7 | 0,93 0,99 | 100 % |
| Kontor | 65 0 | 0,93 0,99 | 220 dagar/år |
| Hotell/motell | 16 27 | 0,93 0,99 | 100 % |
| Ställplats/parkering | 5 3 | 0 0 | 100 % |
| Restaurang/snabbmat | 16 5 | 0,93 0,99 | 100 % |
| Drivmedelsförsäljning | 5 3 | 0,6 0,67 | 100 % |

Riskutredning

5 Riskobjekt

Riskobjekt för föreliggande riskutredning är anläggning för vätgasproduktion (elektrolys) och tankstation. Information om vilken elektrolysteknik som används har inte kunnat delges. Någon genomförlig funktions- eller processbeskrivning har inte heller kunnat delges av leverantören. Istället har driftansvarig personal muntligen beskrivit anläggningens delar som ingår i riskutredningen. Som komplettering när information varit knapphändig har ingenjörsmässiga och erfarenhetsmässiga bedömningar och best guess fått användas.

Utredningen ämnar analysera risknivån för aktuellt detaljplaneområde dels baserat på befintlig placering, dels baserat på planerad framtida placering av vätgasproduktion och tankstation. I Figur 5-1 syns övergripande flödesschema för elektrolysdreven vätgasproduktion.



Figur 5-1 Övergripande flödesschema för vätgasproduktionen.

5.1 Beskrivning vätgasanläggning

Nedan beskrivs vätgasanläggningen med befintliga funktioner. Dessa förväntas vara samma även om anläggningens placering skulle ändras. Den mest iögonfallande skillnaden är att rörledning i mark mellan produktionsanläggning och tankstation blir längre.

I Figur 5-2 syns befintlig tankstation och produktionsanläggning av vätgas. Anläggningen består av sammanlagt sex containrar. Containrarna består av följande funktioner:

- Container 1: elektrisk utrustning, batteri och bränsleceller.
- Container 2 & 3: vätgaslagring under 200 bar tryck i flaskpaket. Det finns även tre fastlåsta pallställ utomhus.
- Container 4: kompressor.
- Container 5: elektrolysör.
- Container 6: fristående container för vätgasstation för tankning av fordon, även buffertkärl som används vid tankning och tryckkärl.

Vätgasproduktion med elektrolysör genomförs generellt med hjälp av vatten, elektrolyt och elektricitet som används för att dela på väte- och syrejonerna i vattenmolekylerna. Då bildas vätgas (H₂) och syrgas (O₂). Endast vätgasen tas om hand på anläggningen. Då informationen varit knapphändig har det inte kunnat delges några exakta parametrar avseende trycket i elektrolysören. Beroende på elektrolysteknik skulle detta kunna vara

Riskutredning

mellan mycket små övertryck till några tiotals bar baserat på erfarenhet från liknande anläggningar. I beräkning ansätts ett tryck om 20 bar i elektrolysören.

I den första av anläggningens tre kompressorer höjs trycket till 200 bar, vilket också är lagringstrycket i flaskpaketen. I containrarna lagras sammanlagt 500 kg vätgas i flaskpaket, vilket motsvarar ungefär 600 flaskor om en sammanlagd volym av 30 m³. Det finns även ungefär 3,6 m³ vätgas under 200 bar tryck i pallställ utomhus.

Från lagringenheten pumpas vätgas i rörledning i mark till container för tankstationen där två kompressorer i serie höjer trycket i två steg från 200 bar till 450 bar och vidare till 900 bar som används för fordonstankning. Ungefärlig volym för vätgasen under 450 bar är 3 m³ och under volymen under 900 bar är 0,1 m³. En kortare sträcka rörledning återfinns ovan mark. Efter att vätgasen höjts till 900 bar pumpas vätgasen till fordonet med slang.



Figur 5-2 Befintlig vätgasproduktion och tankstation.

5.2 Riskidentifiering

Vätgas är en brandfarlig gas (Klass 2.1 enligt ADR) som är väldigt lätt, smak-, lukt- och färglös vid standardtryck och temperatur. Vätgas är både lättantändligt och har ett brett brännbarhetsområde i luft (4 – 77 vol %). Den hanteras ofta under mycket högt tryck, vilket innebär att vid ett läckage kommer spridningen av gasen initialt att styras av ett häftigt flöde, och en jetstråle, för att sedan när strålens moment börjar avta spridas i vindriktningen och snabbt börja stiga uppåt.

En olycka som leder till utsläpp av vätgas kan leda till någon av följande händelser:

- Jetbrand
- Gasmolnsbrand/explosion

Jetbrand:

Riskutredning

En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en tank och direkt antänds. Därmed bildas en jetflamma. Flammans längd beror på en mängd parametrar, bland annat lagringstryck och storleken på hålet i tanken.

Gasmolnsbrand/explosion:

Om gasen vid ovanstående scenario inte antänds omedelbart uppstår ett brännbart gasmoln. Antändning av det brännbara gasmolnet kan leda till en gasmolnsbrand med eller utan ett explosionstryck. Gasmolnsbrand kännetecknas av en lägre förbränningshastighet som ej genererar en tryckvåg. En gasmolnsbrand kan medföra skador på människa och egendom till följd av, i första hand, värmestrålning [8].

Vid en gasmolnsexplosion är förbränningshastigheten högre och en tryckvåg genereras. Explosionen blir i de allra flesta fallen av typen deflagration, d.v.s. flamfronten rör sig betydligt långsammare än ljudets hastighet och har en svagare tryckvåg än detonation. För att en gasmolnsexplosion ska kunna uppstå krävs rätt blandningsförhållande mellan den brännbara gasen och luft och, i de flesta fall, att antändning sker i en miljö med många hinder, eller i ett delvis slutet utrymme, som resulterar i en mer turbulent förbränning. Fria gasmolnsexplosioner är ovanliga. En gasmolnsexplosion kan medföra skador på människa och egendom både till följd av värmestrålning och direkta samt indirekta skador av tryckvågen.

Då vätgas är en lätt gas förespråkar flera modeller [9], [10] att gasmolnsspridning (och därför även gasmolnsbrand) inte ska ingå i en riskutredning på grund av att verktygen som finns i dagsläget inte kan hantera denna lätta gas. Istället ska händelsen modelleras som en gasmolnsexplosion.

5.3 Sammanfattning olycksscenario

De olycksscenario som identifierats härrör från anläggningens utrustning. För varje anläggningsdel utreds ett stort och ett litet utsläpp. Följande läckagepunkter inkluderas:

- Elektrolysör
- Kompressor 1
- Flasklager (600 flaskor)
- Ventiler (42 ventiler)
- Pallställ (72 flaskor)
- Kompressor 2
- Kompressor 3
- Slang för tankning
- Rörledningsdel ovan mark

Enligt riskidentifieringen bedöms att följande skadehändelser bör beaktas i riskanalysen.

- Jetbrand och gasmolnsexplosion

Riskutredning

6 Riskanalys

I detta avsnitt presenteras de resultat som erhållits vid riskanalysen. Resultat bedöms för befintlig och eventuell framtida placering av vätgasanläggning. Resultaten jämförs med aktuella riskkriterier.

6.1 Individrisk

För individrisk föreslås följande kriterier [5]:

Acceptabel risk < 10^{-7} per år < Lägre ALARP < 10^{-6} < Högre ALARP < 10^{-5} per år < Oacceptabel risk

Figur 6-1 redovisar individriskkonturer för vätgasanläggningens befintliga placering. Figur 6-2 redovisar individriskkonturer för vätgasanläggningens planerade framtida placering. För båda alternativ visar den beräknade risknivån gällande individrisk att oacceptabla nivåer inte uppnås.

Avståndet till lägre ALARP-nivån (gul kontur) är ungefär 65 meter för den befintliga placeringen av vätgasanläggningen. Avståndet till högre ALARP-nivån (orange kontur) är ungefär 25 meter. Avstånden är med ett epicentrum förskjutet åt produktionsdelen av anläggningen.

För befintlig vätgasplacering kan konstateras att de befintliga snabbmatsrestaurangerna till viss del ligger inom ALARP-området som symboliseras av den gula konturen i Figur 6-1.



Figur 6-1 Individriskkonturer för befintlig placering av vätgasanläggning.

Vid den framtida placeringen erhålls acceptabla nivåer för de befintliga restaurangerna. Det kan konstateras för den framtida placeringen att högre risknivåer erhålls vid vätgasproduktionen än vid tankningsstationen. Inom 15 meter runt produktionsanläggningen erhålls högre ALARP-nivån (orange kontur) och inom 50 meter

Riskutredning

erhålls lägre ALARP-nivån (gul kontur). Bortanför 50 meter är individrisknivån att bedöma som acceptabel.

Ungefär 40 meter runt tankningsstationen erhålls lägre ALARP-nivån (gul kontur). I övrigt är stora delar av planområdet inom acceptabla individrisknivåer även om en viss förskjutning av ALARP-området sker västerut till följd av den nya placeringen.



Figur 6-2 Individriskkonturer för planerad framtida placering av vätgasanläggning.

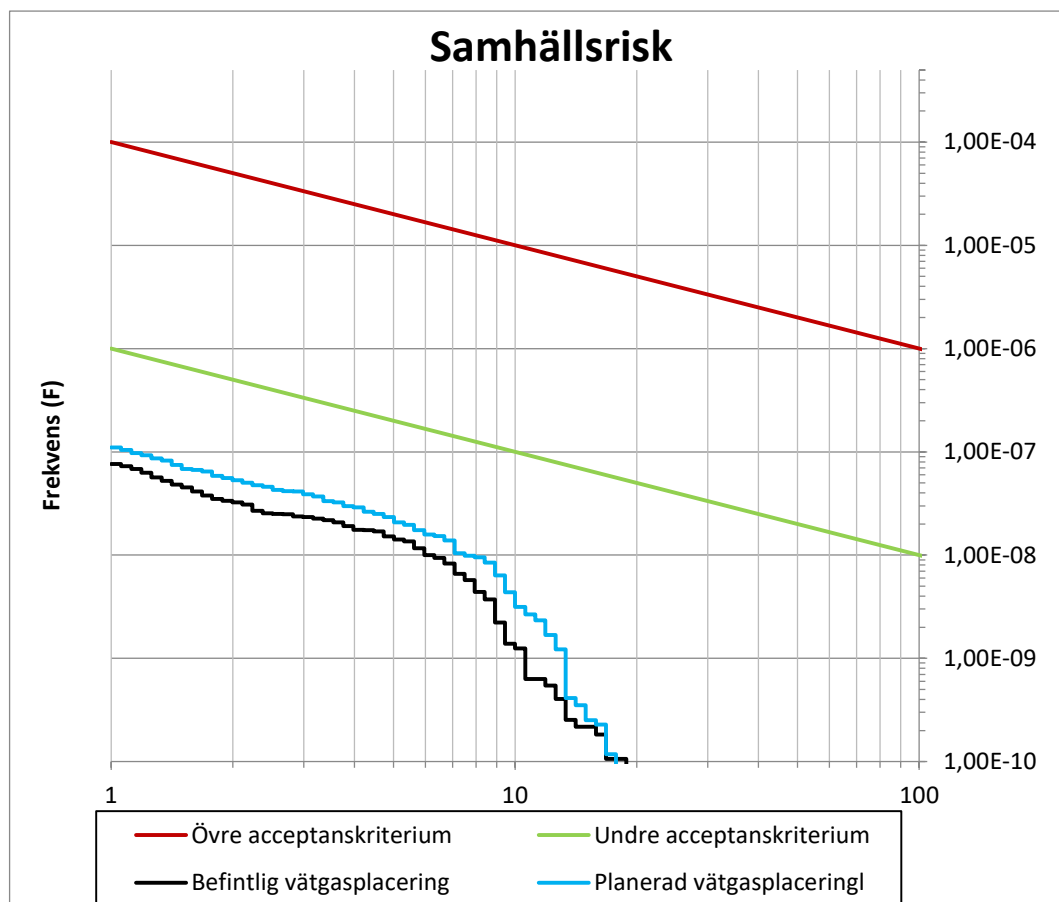
Riskutredning

6.2 Samhällsrisk

Figur 6-3 presenterar samhällsrisk i form av ett f/N diagram för de två olika placeringarna av vätgasanläggningen med antagen disposition av persontäthet enligt avsnitt 4.1.

Samhällsriskberäkningarna visar på att samhällsrisknivån hamnar helt inom acceptabla nivåer för båda lokaliseringalternativ. Detta betyder att säkerhetshöjande åtgärder inte behöver vidtas ur ett samhällsriskperspektiv, givet den inneboende säkerhet (säkerhetsavstånd) som innefattas i aktuell disposition av detaljplanen.

Förutom säkerhetsavstånd är de huvudsakliga anledningarna till att samhällsrisknivån är acceptabel att persontätheten är låg, samt att många av de planerade verksamheterna i närområdet inte medför någon personbelastning nattetid. Dessa faktorer reducerar både konsekvens (antalet omkomna) och frekvens.



Figur 6-3 f/N-diagram över samhällsrisknivån för befintlig och planerad vätgasplacering.

Riskutredning

7 Kvalitativ osäkerhets- och känslighetsanalys

I känslighetsanalysen beskrivs hur känsligt analysresultatet är för antaganden/indata på vissa särskilt viktiga parametrar. I osäkerhetsanalysen beskrivs osäkerheterna i indataparametrar och hur detta har hanterats i analysen.

7.1 Känslighetsanalys

Syftet med känslighetsanalysen är att visa hur känsligt resultatet är för variationer i indata. Variationer studeras här avseende följande parametrar:

- Läckagefrekvenser
- Persontäthet
- Konsekvenser vid studerade scenarion
- Gasmolnsbrand

Läckagefrekvenser för de scenarier som inkluderats i analysen är hämtad från HyRAM referensmanual [10]. Denna data presenteras med olika konfidensintervall, och i samtliga fall har medianvärdet valts. Då läckagefrekvensen är den inledande händelsen i riskberäkningarna har den en stor effekt på de beräknade risknivåerna. En variation i läckagefrekvens innebär en direkt påverkan på slutresultatet. Då det är stor marginal till oacceptabla risknivåer för både individ- och samhällsrisk bedöms dock slutsatser i denna rapport som robusta gällande denna parameter.

Det kan konstateras att förändring i persontäthet inom det studerade planområdet har en påverkan på samhällsriskerna men inte på individrisken. Det går emellertid inte att tydligt ange ett enkelt samband mellan variationer i persontäthet och samhällsriskens känslighet för dessa variationer. En allmän ökning av persontätheten ger en allmän ökning av samhällsriskerna men det är svårt att ange i exakt vilket område av f/N-kurvan ökningen sker. Klart är dock att en ökning i persontäthet innebär en förskjutning av f/N-kurvan åt höger.

Resultatets känslighet för variationer avseende konsekvenser vid studerade scenarier bedöms som relativt stor. Konsekvensberäkningar av olyckor till följd av bränder och utsläpp av gaser är beroende av en rad olika parametrar, exempelvis bland annat hålstorlek, tryck, vindstyrka och utetemperatur. Varierande väderparametrar (såsom vindstyrka, vindriktning och stabilitetsklass) har hanterats i analysen, likaså varierande hålstorlekar, tryck och läckagemängd. Dessa är de parametrar som av erfarenhet kan ha stor inverkan på beräknade konsekvensavstånd. Andra parametrar som utetemperatur, solinstrålning och luftfuktighet har av erfarenhet mindre påverkan på konsekvensavstånd.

7.2 Osäkerhetsanalys

Man brukar skilja på två typer av osäkerhet, epistemisk osäkerhet (kunskapsosäkerhet) och stokastisk osäkerhet (variabilitet). Kunskapsosäkerheten handlar om att inte tillräcklig information finns tillgänglig. Denna kan i teorin elimineras med ytterligare mätningar/information. Exempel på detta är flödesdata. Stokastisk variation går dock inte att eliminera utan handlar om naturlig variabilitet, exempel på detta är vindhastigheter och riktningar. En riskutredning som denna innehåller betydande osäkerheter av båda sorter, men framförallt kunskapsosäkerhet.

Syftet med osäkerhetsanalysen är att visa hur osäkert det underlag är som slutsatser är grundade på. Osäkerheten analyseras avseende följande parametrar:

Riskutredning

- Persontäthet
- Konsekvenser vid studerade scenarion

Då detaljplanens disposition ännu inte var känd vid denna utrednings genomförande var frihetsgraderna vid bedömning av personbelastning relativt höga. Av naturliga skäl inkorporerar detta osäkerheter i analysen. För att hantera denna osäkerhet har förslag på personfördelning och allokering av markanvändning tagits fram baserat på planbeskrivning och stämts av med kommunens planhandläggare.

Osäkerheten avseende konsekvenser vid studerade scenarier bedöms vara beroende på scenariobeskrivningarna. Då det inte funnits någon teknisk beskrivning av systemet har muntliga intervjuer med driftspersonal fått genomföras. Dessa har kompletterats med information från en teknisk ritning över systemet (P&ID) där ventiler, flaskor och containrar framgår schematisk. Bedömning av representativa scenarier har därav genomförts vid flera tillfällen och valet av scenarier har kunnat bekräftas med kompletterande underlag och intervjuer. Detta bedöms ha medfört en betryggande kvalitetssäkrad process för framtagandet av representativa scenarier.

Det verktyg som genomgående används för att möta effekten av osäkerheten i indata är tillämplande av bedömningar som ger resultat med säkerhetsmarginal. Därmed konstateras att det presenterade resultatet troligen visar en högre risk än vad som faktiskt gäller. Exempelvis på val som innebär en inbyggd säkerhetsmarginal i resultatet är:

- Hantering av gasmolnsexplosion - I Effects hanteras detta genom att först modellera en gasmolnspridning och sedan vid antändning endast beräkna effekterna av en explosion (dvs att effekter av en gasmolnsbrand inte ingår). Längre skadeavstånd uppnås än om man antar explosion direkt vid källan.
- Spridningsmodellen använder sig av en modell för spridning av neutral gas. Då vätgas är mycket lättare än luft kommer spridningen att beräknas konservativt.

Riskutredning

8 Riskbedömning och rekommendationer

Beräknade risknivåer är baserade på de förutsättningar som används i beräkningarna (se avsnitt 4.1 och 5.1 och beräkningsbilaga) gällande till exempel lagringsmängder, tryck mm.

Individriskberäkningarna visar att avståndet till lägre ALARP-nivån är ungefär 65 meter för den befintliga placeringen av vätgasanläggningen. Avståndet till högre ALARP-nivån är ungefär 25 meter. För den framtida placeringen blir avstånden kortare då produktion och tankning är separerade. Det kan konstateras att högre risknivåer erhålls vid vätgasproduktionen (50 meter till ALARP samt 15 meter till högre ALARP-nivån) än vid tankningsstationen (40 meter till ALARP). I övrigt är stora delar av planområdet inom acceptabla individrisknivåer även om en viss förskjutning av ALARP-området sker västerut till följd av den nya placeringen.

Beräkningar visar på att samhällsrisknivån hamnar helt inom det acceptabla området för båda lokaliseringsalternativ. Inga ytterligare åtgärder bedöms behövas ur samhällsriskperspektiv givet det i beräkningarna inkorporerade säkerhetsavståndet.

8.1 Rekommendationer

8.1.1 Disposition av markanvändning

Då osäkerheter finns i detaljplanens disposition är upprätthållandet och säkerställandet av en god inneboende säkerhet (avstånd) mellan vätgasanläggning (tankstation och produktionsanläggning) och 3:e person den enskilt viktigaste åtgärden. Detta betyder att detaljplanens disposition utgör grundpelaren i att erhålla en adekvat risknivå. Den i planbeskrivningen föreslagna fördelningen av verksamheter bedöms medföra en lämplig allokering av markanvändning under följande rekommenderade förutsättningar:

- Första radens bebyggelse (byggnader närmast vätgasanläggningen) utgörs av verksamheter med låg persontäthet, exempelvis sällanköpshandel.
- Minst 50 meter hålls mellan byggnation och närmsta del av vätgasanläggning.
- Kontor och hotell förläggs på 100 meters avstånd från närmsta del av vätgasanläggning.

8.1.2 Planerad fysisk skyddsbarriär

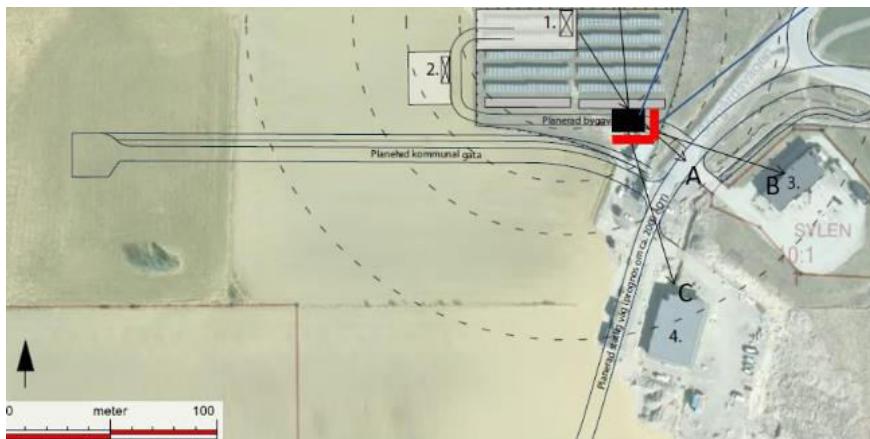
Skyddsbarriär mot tryckvågor och termisk värmestrålning planeras i samband med den framtida produktionsanläggningen, se röd markering i Figur 8-1. Beräknade risknivåer är inte nödvändigtvis så höga så att en fysisk barriär är motiverad. De riskreducerande effekterna av barriären är svårberäknade men bedöms kunna medföra lägre risknivåer för de befintliga snabbmatsrestaurangerna. Om en tryckvåg begränsas i en dimension kommer den dock kunna bli större i andra riktningar, vilket inte har kunnat innefattas i beräkningar.

En risk är att vätgasanläggningen begränsar de befintliga snabbmatsrestaurangerna från att kunna utvidga sin verksamhet genom exempelvis fler bord eller längre öppettider etc. En barriär kan således vara en proaktiv åtgärd mot att undvika att bli en begränsande faktor för restaurangernas eventuella utbyggnad eller utvidgning.

Sammantaget bedöms att då detaljplanen har goda möjligheter att reglera disposition och markanvändning för framtida, planerade verksamheter men begränsade möjligheter att påverka befintliga verksamheter kan åtgärden således ändå vara motiverad trots den relativt låga risknivån. Det är emellertid viktigt att barriärens dimensionering görs på ett korrekt sätt för lämpliga potentiella tryckklaster. En rämmande fysisk barriär eller mur

Riskutredning

riskerar annars att fragmenteras och bidra till risker för omgivningen snarare än reducera riskerna. Detta bör utredas i större detalj i ett senare skede.



Figur 8-1 Planerade fysisk skyddsbarriär mot tryckvåg och värmestrålning, se röd markering.

Riskutredning

9 Slutsatser

Följande slutsatser har erhållits i utredningen:

- Det kan konstateras att högre risknivåer erhålls vid vätgasproduktionen än vid tankningsstationen.
- Riskberäkningarna visar att risknivån är högre vid befintlig placering av vätgasanläggningen då alla riskkällor är närmre varandra, vilket medför att risken blir mer koncentrerad till en punkt. Avståndet till ALARP-nivån blir därav längre (ungefär 65 meter) för den befintliga placeringen av vätgasanläggningen.
- För den framtida placeringen blir avstånden kortare (50 meter till ALARP från produktion och 40 meter till ALARP från tankning) även om en viss förskjutning av ALARP-området sker västerut till följd av den nya placeringen.
- Beräkningar visar på att samhällsrisknivån hamnar helt inom det acceptabla området för båda lokaliseringalternativ. Inga ytterligare åtgärder bedöms behövas ur samhällsriskperspektiv givet det i beräkningarna inkorporerade säkerhetsavståndet.

Givet de föreslagna rekommenderade åtgärderna bedöms acceptabel risknivå erhållas för detaljplanen.

Riskutredning

10 Referenser

- [1] TNO, Guidelines for quantitative risk assessment, 'Purple Book', CPR 18E, RVIM, 1999.
- [2] TNO Riskcurves, "RISKCURVES 10.1.9.12276," 2018. [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/environment-sustainability/public-safety/riskcurves-software-for-quantitative-risk-assessment/>.
- [3] TNO Purple Book, "Guidelines for quantitative risk assessment "Purple book", " 2005b. [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/environment-sustainability/public-safety/the-coloured-books-yellow-green-purple-red/>.
- [4] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer," Räddnings- och säkerhetsavdelningen.. Publikation: 2000:1., 2000.
- [5] Räddningsverket, "Värdering av risk," Karlstad, 1997.
- [6] Mariestads kommun, "Planbeskrivning antagandehandling," 2021.
- [7] Mariestads kommun, "Riskutredning Sund och Hindsberg," 2018.
- [8] FOA, "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker," Försvarets forskningsanstalt (FOA), 1998.
- [9] Gexcon, "Technical Note, Use of Effects for Hydrogen Modelling," 2020.
- [10] S. N. Laboratories, "Hydrogen Risk Assessment Models (HyRAM) Version 4.1 Technical Reference Manual," 2021.

Beräkningsbilaga

Handläggare
Oscar Lindén
Telefon
010-505 84 94
Mobil
073-074 87 74
E-post
oscar.linden@afry.com

Datum
2022-06-02
Projekt ID
214534

Kund
Mariestads kommun

Beräkningsbilaga till Riskutredning för Vätgas Mariestads kommun

Uppdragsledare/Handläggare: Oscar Lindén
Intern kvalitetsgranskning: Sohrab Nassiri

Beräkningsbilaga

Innehållsförteckning

| | | |
|--------|----------------------------------------------------|----|
| 1 | Bilaga | 4 |
| 2 | Gemensamma indata till konsekvensberäkningar | 5 |
| 2.1 | Väderdata | 5 |
| 2.1.1 | Vindhastighet | 5 |
| 2.1.2 | Stabilitetsklass..... | 6 |
| 2.1.3 | Vindriktning..... | 8 |
| 2.1.4 | Övriga väderdata | 8 |
| 2.2 | Geometri och topografi | 8 |
| 2.3 | Skadekriterier | 8 |
| 2.3.1 | Jetbrand | 8 |
| 2.3.2 | Explosion | 9 |
| 3 | Beräkningsmodell | 11 |
| 3.1 | Scenarier..... | 11 |
| 3.1.1 | Läckagefrekvenser..... | 13 |
| 3.1.2 | Antändning..... | 14 |
| 3.1.3 | Gasmolnsexplosion | 14 |
| 4 | Resultat | 15 |
| 4.1 | Sammanfattning av frekvensberäkningar..... | 15 |
| 4.2 | Sammanfattning av konsekvensberäkningar | 15 |
| 4.2.1 | Elektrolysör 10%..... | 15 |
| 4.2.2 | Elektrolysör 100% | 16 |
| 4.2.3 | Kompressor 1: 10%..... | 16 |
| 4.2.4 | Kompressor 1: 100% | 16 |
| 4.2.5 | Flasklager 10% | 16 |
| 4.2.6 | Flasklager: 100% | 16 |
| 4.2.7 | Ventiler 10% | 17 |
| 4.2.8 | Ventiler: 100% | 17 |
| 4.2.9 | Pallställ 10% | 17 |
| 4.2.10 | Pallställ: 100% | 17 |
| 4.2.11 | Kompressor 2: 10%..... | 17 |
| 4.2.12 | Kompressor 2: 100% | 18 |
| 4.2.13 | Kompressor 3: 10%..... | 18 |
| 4.2.14 | Kompressor 3: 100% | 18 |
| 4.2.15 | Slang: 10% | 18 |
| 4.2.16 | Slang: 100% | 18 |
| 4.2.17 | Rörledning: 10% | 19 |

Beräkningsbilaga

| | |
|-------------------------------|----|
| 4.2.18 Rörledning: 100% | 19 |
| Referenser | 20 |

Dokumenthistorik

| Revision | Status | Datum |
|-----------------|---------------|--------------|
| 1 | Rapportutkast | 2022-06-02 |

Beräkningsbilaga

1 Bilaga

Denna bilaga innehåller frekvens- och konsekvensberäkningar för de händelser som tidigare identifierats och som kan leda till utsläpp av vätgas som påverkar studerade skyddsvärda objekt.

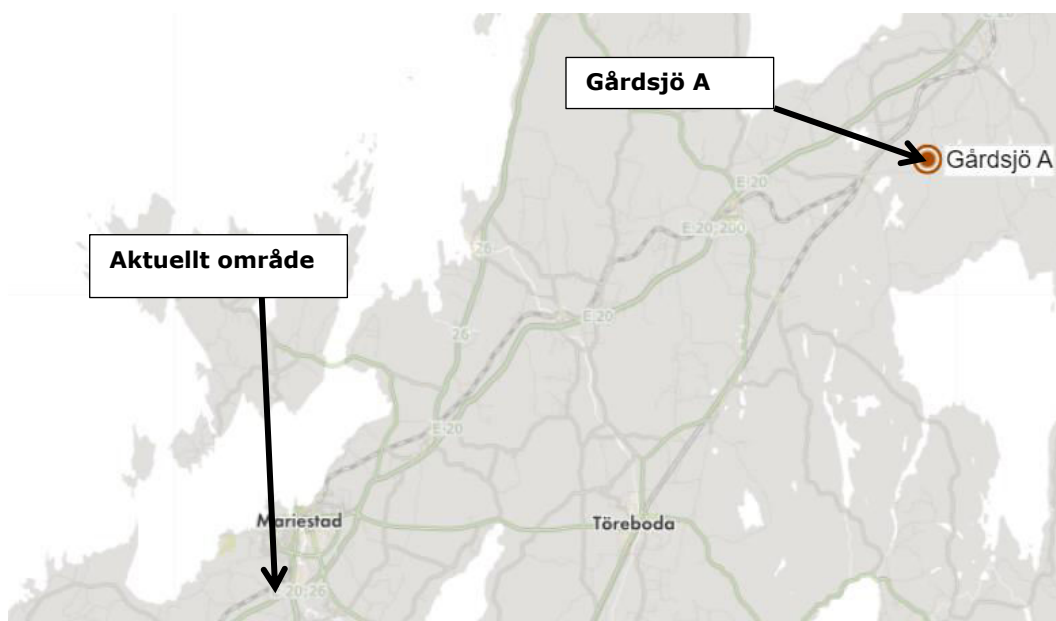
I denna riskutredning har konsekvens- och frekvensberäkningar gjorts med programvaran Riskcurves [1]. Programmet har tagits fram av The Netherlands Organisation for applied scientific research (TNO) som är ett oberoende forskningsinstitut. Beräkningar i föreliggande studie baseras till stor del på de källor som används i Riskcurves [2]. Där dessa frångås nämns detta uttryckligen. Beräkningarnas konsekvensmodelleringar är förankrade i empiri och forskningsdata med en gedigen referenslista. Verktygets fördelar är att olika modeller kan byggas upp och beräknas relativt snabbt. Det är också enkelt att plocka ut relevanta och tydliga resultat i tabeller, grafer och kartbilder.

Beräkningsbilaga

2 Gemensamma indata till konsekvensberäkningar

2.1 Väderdata

Närmsta aktiva väderstation i förhållande till studerade fastigheter är Gårdsjö A där data tagits för vind och temperatur från åren 1995 – 2021, se Figur 2-1.

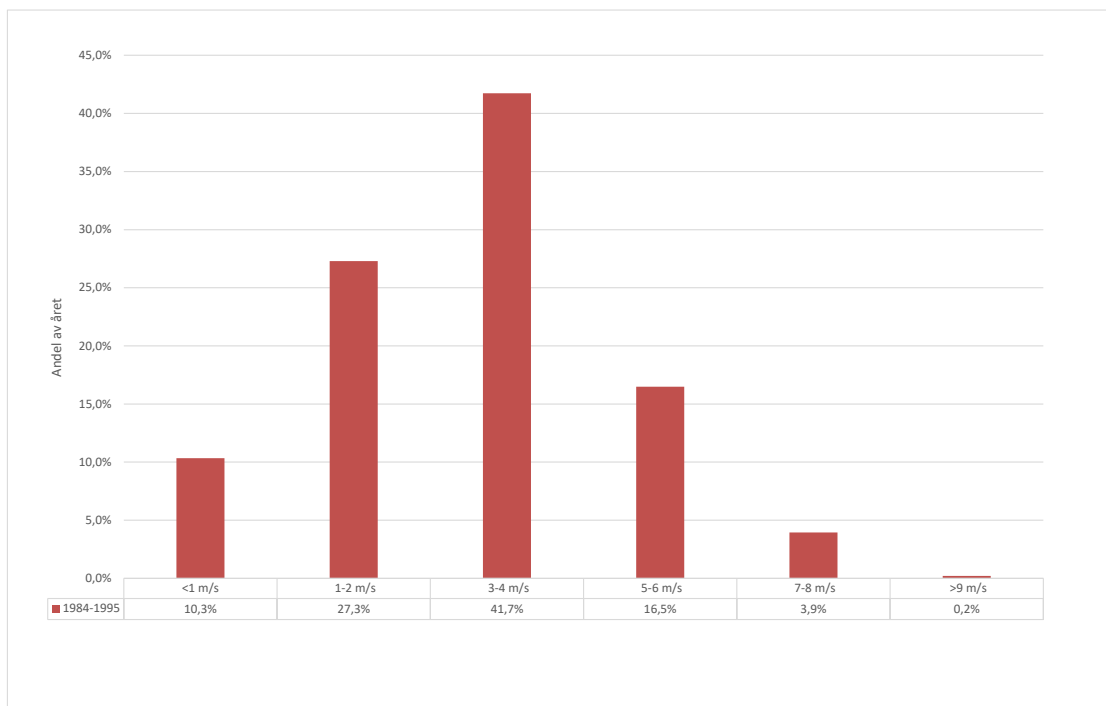


Figur 2-1. Placering av mätstation Gårdsjö A i förhållande till utredningsområdet. [3]

2.1.1 Vindhastighet

Vindens hastighet påverkar till stor del resultatet av konsekvensberäkningarna. Spridningen från en olycka blir värre i olyckans närhet om ett lägre värde på vindhastighet används. I Figur 2-2 visas fördelningen av vindstyrka mellan 1995 – 2021. Medelvärdet under denna period var 2,8 m/s. I analysen har 2 m/s använts för svag vind, 5 m/s för normal och stark vind, vilket bedöms som konservativt.

Beräkningsbilaga



Figur 2-2. Vindhastighet under 1995-2021 redovisad som andel av tid uppmätt på SMHI:s väderstation Gårdsjö A.

2.1.2 Stabilitetsklass

I beräkningsmodellen används Pasquills stabilitetsklasser. Pasquills stabilitetsklasser beskriver hur instabil eller stabil luftmassan närmast jordens yta är, dvs. turbulensen. Turbulensen i sin tur har stor påverkan för hur ett utsläpp till luft sprids, framförallt i betydelsen av hur koncentrationen beror av avståndet från utsläppskällan. Ju mer turbulens/ju mer stabil luftmassa, desto mindre omblandning och utspädning av utsläppet vilket innebär längre konsvensavstånd. Detta beror främst på mängden solinstrålning, dvs. att ju mer solinstrålning desto mer värms luften närmast marken upp och rör sig uppåt och ökar turbulensgraden i luftskiktet. Således är det främst under natten som luften är stabil, dvs. när det inte finns någon solinstrålning. I Tabell 2-1 görs en beskrivning av Pasquills stabilitetsklasser.

Beräkningsbilaga

Tabell 2-1. Beskrivning av Pasquills stabilitetsklasser [2] & [4].

| Turbulens | Beskrivning, väderförhållande | Pasquills stabilitetsklass | Ungefärliga vindhastigheter [m/s] |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Instabil | Måttligt till mycket solinstrålning (soligt molnfritt väder, där solen står högt på himlen (större än 60 grader)) och måttliga till svaga vindar gör att atmosfären blir instabil. | A: Extremt instabilt | <2,5 |
| | | B: Måttligt instabilt | 2,5-4 |
| | | C: Svagt instabilt | 4< |
| Neutral | Relativt starka vindar och måttlig solinstrålning (molnig väderlek och/eller klar väderlek där solen står lågt på himlen (mellan 15 -35 grader)) är associerade med neutral/måttlig turbulens | D: Neutral | 0-15 |
| Stabil | Låg/ingen solinstrålning och svaga vindar. Sker främst under natten. | E: Svagt stabilt | 2,5< |
| | | F: Måttligt – extremt stabilt | <2,5 |

För att ta höjd för olika förhållanden av vindstyrka och stabilitetsklasser används tre olika kombinationer:

- 2F: Stabilitetsklass F, vindhastighet 2 m/s
- 2D Stabilitetsklass D, vindhastighet 2 m/s
- 5D: Stabilitetsklass D, vindhastighet 5 m/s

De valda väderscenerierna bedöms som representativa och rimligt konservativa.

Det görs även skillnad på väderfördelningen mellan dag och natt, där det under natten är mer vanligt med låga vindhastigheter och stabila väderförhållanden. Baserat på ovan data har följande fördelning av väderkombinationer valts:

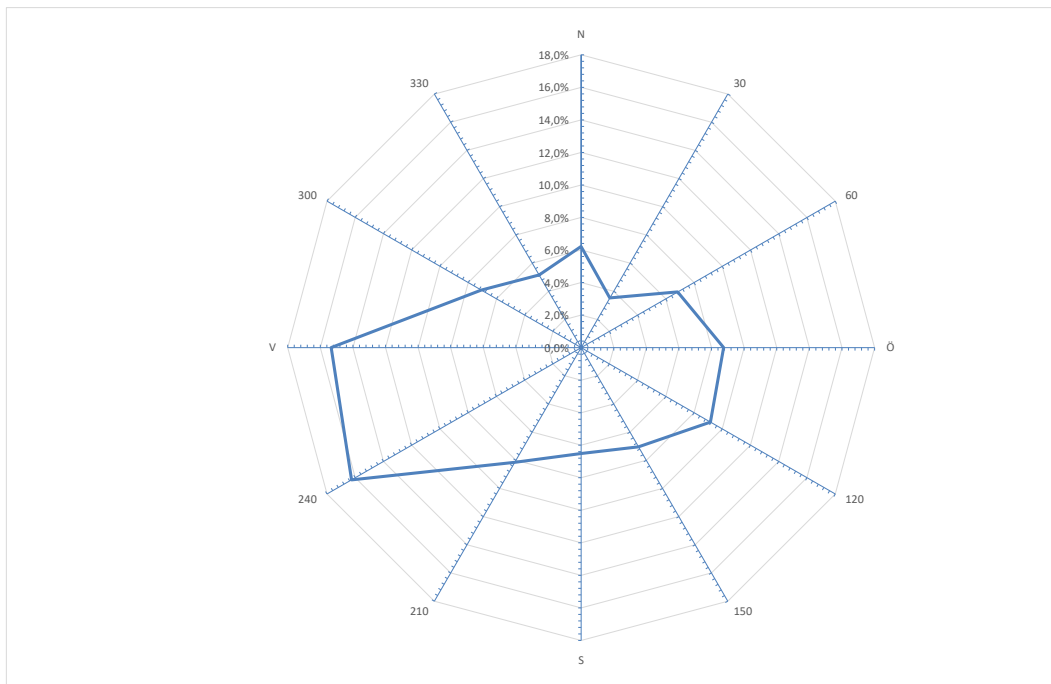
Tabell 2-2. Fördelning av väderförhållanden.

| Väderförhållande | Dag | Natt |
|------------------|-------|-------|
| 2F | 5% | 10% |
| 2D | 45% | 50% |
| 5D | 50% | 40% |
| Summa | 100 % | 100 % |

Beräkningsbilaga

2.1.3 Vindriktning

Vindriktningen inverkar vid spridning av gaser. Förhärskande vindriktningar är från 240 grader, se Figur 2-3. Vindriktningen anges alltid i det väderstreck som det blåser från.



Figur 2-3. Vindfördelning för mätstation Gårdsjö, 1995-2021 [3].

2.1.4 Övriga väderdata

I övrigt har följande väderparametrar valts (standardinput från Effects):

- Omgivningstemperatur 9°C
- Luftfuktighet 83%
- Solinstrålning 120 W/m²

2.2 Geometri och topografi

En ytråhet lika med 0,25 m har använts i konsekvensanalysen. Ytråhet 0,25 m motsvaras av parkområde, buskar, flera hinder och har bedömts representativt för omgivningen runt anläggningen.

2.3 Skadekriterier

2.3.1 Jetbrand

Tabeller nedan visar möjlig konsekvens av olika värmestrålningsnivåer [5]

Tabell 2-3 Effekt på människor/ byggnader som funktion av värmestrålningsnivå [5]

| Värmestrålningsnivå | Effekt på människor |
|-----------------------|------------------------------------------|
| 1,5 kW/m ² | Tröskel för smärta vid längre exponering |

Beräkningsbilaga

| | |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 kW/m ² | Andra gradens brännskador inom 30 s (oskyddade personer) |
| 10 kW/m ² | Potentiellt dödlig vid längre exponering |
| 15 kW/m ² | Antändning av trä vid längre exponering, möjlig antändning av byggnader och eskalering av brand. Strålningsnivån utgör också Boverkets byggregler om maximal tillåten värmestrålning mellan byggnader. |
| 20 kW/m ² | Härdat fönsterglas spricker. |

Följande skadekriterier har använts för jetbrand:

Tabell 2-4 Skadekriterier som används i jetbrandsberäkningarna.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Mottagarhöjd Z _d (m) | 1,5 | |
| Letal fraktion inom flamma eller gasmolnsbrand | 100 % | |
| Värmestrålningsnivå vid total destruktion (kW/m ²) | 35 | |
| Letalitet vid total destruktion (inomhus och utomhus) (-) | 100 % | |
| Maximal exponeringstid för värmestrålning, (s) | 20 | |
| Probit funktion, värmestrålning | $Pr = -36,38 + 2,56 \ln(q_{1,33}) * t$ | q = värmestrålningen i W/m ² och t = exponeringstiden i sekunder, [6] |

2.3.2 Explosion

I händelse av en explosion kan en tryckvåg uppstå som kan skada människor och byggnader. Nedan listas effekter på människor och byggnader som funktion av explosionstrycket.

Beräkningsbilaga

Tabell 2-5 Effekter på människor som funktion av explosionstrycket [5]

| Explosionstryck [kPa] | Effekt på människor |
|-----------------------|---------------------------|
| 35 | Gräns för trumhinneruptur |
| 70 | Gräns för lungskador |
| 180 | 1 % omkomna |
| 210 | 10 % omkomna |
| 260 | 50 % omkomna |
| 350 | 99 % omkomna |

Tabell 2-6 Effekter på byggnader som funktion av explosionstrycket [5]

| Explosionstryck [kPa] | Effekt på byggnader |
|-----------------------|------------------------------------------------|
| 1 | Glasrutor spricker |
| 3,5 | Glasrutor splittras |
| 2-5 | Lätta innerväggar skadas |
| 7-15 | Tegelväggar påverkas, |
| 10 | 2,5% omkomna inomhus pga fönstersplitter |
| 15,8 | Nedre gräns för allvarliga strukturella skador |
| 30 | Destruktion av oskyddade byggnader |

Följande skadekriterier har använts för explosion i beräkningarna:

Tabell 2-7 Skadekriterier som används i explosionsberäkningarna.

| Parameter | Värde |
|------------------------------------------------------------------|-------|
| Peak tryck för total destruktions (inomhus och utomhus) (mbar) | 300 |
| Peak tryck för letalitet inomhus på grund av glassplitter (mbar) | 100 |
| Letalitet av glassplitter (-) | 0,025 |
| Inomhus:utomhus letalitet av toxisk effekt (-) | 0,1 |
| Maximal tid till personer har satts i säkerhet (s) | 1800 |

Beräkningsbilaga

3 Beräkningsmodell

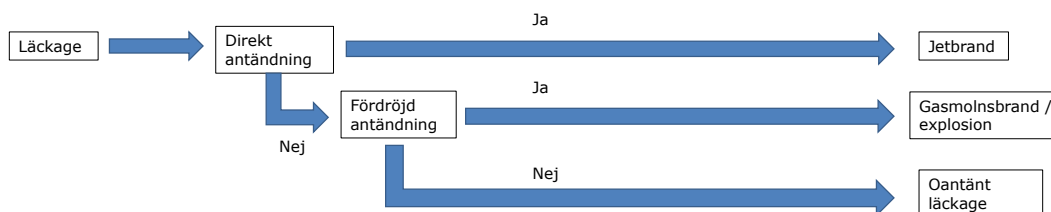
Den beräkningsmodell som används baseras på den som presenteras av Sandia National Laboratories i HyRAM [7] (Hydrogen Risk Assessment Models). HyRAM är ett beräkningsverktyg som tagits fram specifikt för vätgasanläggningar och tankstationer. Till beräkningsverktyget ingår en teknisk referensmanual, med indata och förslag till tillvägagångsätt. Referensmanualen har använts till stor del nedan, om inget annat anges.

3.1 Scenarier

Läckagescenarier för följande anläggningsdelar har identifierats:

- Elektrolysör (10 % läckage samt större brott)
- Kompressor 1 (10 % läckage samt större brott)
- Flasklager (600 flaskor) (10 % läckage samt större brott)
- Ventiler (42 ventiler) (10 % läckage samt större brott)
- Pallställ (72 flaskor) (10 % läckage samt större brott)
- Kompressor 2 (10 % läckage samt större brott)
- Kompressor 3 (10 % läckage samt större brott)
- Slang för tankning (10 % läckage samt större brott)
- Rörledningsdel ovan mark (10 % läckage samt större brott)

Samtliga scenarier analyseras enligt nedan händelseträd:



Figur 3-1 Scenarieutveckling från läckage till brand/explosion.

Då vätgas är en lätt gas förespråkar flera modeller [8], [7] att gasmolnsspridning (och därför även gasmolnsbrand) inte ska ingå i en riskutredning på grund av att verktygen som finns i dagläget inte kan hantera så lätta gaser. Istället ska händelsen modelleras som en gasmolnsexplosion. I Effects hanteras detta genom att först modellera en gasmolnspridning och sedan vid antändning endast beräkna effekterna av en explosion (dvs att effekter av en gasmolnsbrand inte ingår).

I aktuellt fall är flera platser inom vätgasstationen antingen helt inneslutna (container med stationsmodul och lagringsmodul) eller så pass täta att de ändå hade beskrivits nästan inneslutna (dockningsplatser för trailrar) Med andra ord är risken stor för att fördröjd antändning av ett läckage leder till ett explosionstryck.

Följande förutsättningar har antagits för respektive scenario:

Beräkningsbilaga

Tabell 3-1 Indata läckage i samband med elektrolysör.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|---------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Tryck | 20 bar | Ingenjörsmässig bedömning från erfarenhet |
| Temperatur | Ambient | Indata från leverantör driftspersonal |
| Bakomliggande volym | 10 m ³ | Indata från leverantör driftspersonal |
| Håldiamater | 12 mm (brott) och 1,2 mm (10% av diameter) | Rördiameter 12 mm |

Tabell 3-2 Indata läckage i samband med kompressor 1, 2 och 3.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Tryck (kompressor 1:2:3) | 200:450:900 bar | Indata från leverantör driftspersonal |
| Temperatur | Ambient | Indata från leverantör driftspersonal |
| Bakomliggande volym (kompressor 1:2:3) | 32m ³ :3,2m ³ :0,1m ³ | Indata från leverantör driftspersonal |
| Håldiamater | 12 mm (brott) och 1,2 mm (10% av diameter) | Rördiameter 12 mm |

Tabell 3-3 Indata läckage i samband med flasklager och pallställ.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|---------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| Tryck | 200 bar | Indata från leverantör driftspersonal |
| Temperatur | Ambient | Indata från leverantör driftspersonal |
| Bakomliggande volym | 32m ³ | Indata från leverantör driftspersonal |
| Håldiamater | 6 mm (brott) och 0,6 mm (10% av diameter) | Rördiameter 6 mm |

Tabell 3-4 Indata läckage i samband med ventiler.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|---------------------|------------------|---------------------------------------|
| Tryck | 200 bar | Indata från leverantör driftspersonal |
| Temperatur | Ambient | Indata från leverantör driftspersonal |
| Bakomliggande volym | 30m ³ | Indata från leverantör driftspersonal |

Beräkningsbilaga

| | | |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------|
| Håldiameter | 12 mm (brott) och 1,2 mm (10% av diameter) | Rördiameter 12 mm |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------|

Tabell 3-5 Indata slangläckage i samband med tankning.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|---------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Tryck | 900 bar | Indata från leverantör driftspersonal |
| Temperatur | Ambient | Indata från leverantör driftspersonal |
| Bakomliggande volym | 0,1m ³ | (motsvarande 5kg, indata från leverantör driftspersonal) |
| Håldiameter | 12 mm (brott) och 1,2 mm (10% av diameter) | Slangdiameter 12 mm |
| Längd | 5 meter | |
| Antal slangar | 1 st | |

Tabell 3-6 Indata läckage i samband med läckage från rör ovan mark.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|---------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|
| Tryck | 450 bar | Indata från leverantör driftspersonal |
| Temperatur | Ambient | Indata från leverantör driftspersonal |
| Bakomliggande volym | 3,2m ³ | Indata från leverantör driftspersonal |
| Håldiameter | 12 mm (brott) och 1,2 mm (10% av diameter) | Rördiameter 12 mm |
| Antal m rör | 20 m | |

3.1.1 Läckagefrekvenser

Läckagefrekvenser för de scenarier som inkluderats i analysen är hämtad från HyRAM referensmanual [7] och presenteras nedan. Två olika storlekar på läckage har inkluderats, fullt brott samt 10% av diametern av komponenten i fråga. Samtliga frekvenser är per år, förutom för rör som är per år och per meter. 20 meter rör har antagits vara ovan mark. För fyllningsslangen har läckagefrekvenser för slang använts.

För ihopkopplade flasklager och pallställ finns strypventiler som begränsar utsläppsflödet i händelse av ett brott eller läckage. Mängden som släpps ut om skyddet fungerar bedöms inte medföra allvarliga risker. Om skyddet felfungerar kommer dock ett ohindrat flöde släppas ut. Felfrekvensen har satts till 10 % av fallen.

Beräkningsbilaga

Tabell 3-7 Använda läckagefrekvenser från HyRAM – medianvärden har valts.

| Komponent | Frekvens (10% av diameter) – per år | Frekvens (fullt brott) – per år | PFD (sannolikhet för felfungerande strypventil) |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|
| Slangar | 1,5E-04 | 6,2E-05 | - |
| Rör | 4,6E-07* | 1,50E-07* | - |
| Kompressor | 1,5E-04 | 1,50E-05 | - |
| Flaska** | 4,5E-07 | 2,3E-07 | 10 % |
| Elektrolysör*** | 1,5E-04 | 1,50E-05 | - |

*Läckagefrekvens för rör anges i per år och per m.

**Läckagefrekvensen är för en (1) flaska och gäller även för flaskor i pallställ

***Läckagefrekvens för kompressor användes då elektrolysör inte finns definierat i HyRAM.

3.1.2 Antändning

Antändningssannolikheter för direkt och fördröjd antändning är hämtade från HyRAM.

| Release Rate (kg/s) | Ignition Probability | |
|---------------------|----------------------|---------|
| | Immediate | Delayed |
| <0.125 | 0.008 | 0.004 |
| 0.125–6.25 | 0.053 | 0.027 |
| >6.25 | 0.230 | 0.120 |

Figur 3-2 Antändningssannolikheter från HyRAM [7].

3.1.3 Gasmolnsexplosion

För samtliga scenarier antas en explosion inträffa vid fördröjd antändning. I explosionsövertrycksberäkningar med multienergimetoden ska ett representativt kurvnummer för explosionsstyrka anges mellan 1-10 där 1 motsvarar svag deflagration och 10 en detonation. Vid val av kurva tas hänsyn till antändningsenergin, hindertäthet i arean och om explosionen inträffar i ett slutet utrymme. Vätgas bedöms ha en explosionsstyrka på 10 i samtliga fall.

Beräkningsbilaga

4 Resultat

4.1 Sammanfattning av frekvensberäkningar

Tabell 4-1 Sammanfattning av frekvensberäkningar. För flasklager och pallställ inkluderas 10 % felfrekvens för strypventilsskyddet.

| Scenario | Frekvens (per år) |
|-------------------------------------|-------------------|
| Elektrolysör 10% | 1,5E-4 |
| Elektrolysör 100% | 1,2E-05 |
| Kompressor 1: 10% | 1,5E-4 |
| Kompressor 1: 100% | 1,5E-05 |
| Kompressor 2: 10% | 1,5E-4 |
| Kompressor 2: 100% | 1,5E-05 |
| Kompressor 3: 10% | 1,5E-4 |
| Kompressor 3: 100% | 1,5E-05 |
| Flasklager 10% (för en (1) flaska) | 4,5E-08 |
| Flasklager 100% (för en (1) flaska) | 2,3E-08 |
| Pallställ 10% (för en (1) flaska) | 4,5E-08 |
| Pallställ 100% (för en (1) flaska) | 2,3E-08 |
| Rör 10% (per meter rör) | 4,6E-07 |
| Rör 100% (per meter rör) | 1,5E-07 |
| Slang 10% | 1,5E-4 |
| Slang 100% | 6,2E-05 |
| Ventiler 10% (för en (1) ventil) | 2,5E-05 |
| Ventiler 100% (för en (1) ventil) | 4,8E-06 |

4.2 Sammanfattning av konsekvensberäkningar

I efterföljande avsnitt sammanfattas avstånd (i meter) till olika värmestrålning och explosionsövertryck för varje scenario och för de olika väderfallen. Om explosionsresultat inte redovisas så har explosionsstrycket till de olika nivåer inte uppstått.

4.2.1 Elektrolysör 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m2 heat radiation contour (JetFire) | 1 | 1 | 1 |
| 15 kW/m2 heat radiation contour (JetFire) | 1 | 1 | 1 |
| 20 kW/m2 heat radiation contour (JetFire) | 1 | 1 | 1 |

Beräkningsbilaga

4.2.2 Elektrolysör 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 30 | - | 20 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 23 | - | 15 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 9 | 7 | 8 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 8 | 7 | 8 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 8 | 6 | 8 |

4.2.3 Kompressor 1: 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 3 | 3 | 3 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 3 | 3 | 3 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 3 | 3 | 3 |

4.2.4 Kompressor 1: 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|-----|----|-----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 309 | 63 | 150 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 261 | 42 | 116 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 38 | 31 | 36 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 36 | 29 | 35 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 35 | 28 | 34 |

4.2.5 Flasklager 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 2 | 1 | 2 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 2 | 1 | 2 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 2 | 1 | 2 |

4.2.6 Flasklager: 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 37 | 24 | 30 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 27 | 20 | 23 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 12 | 10 | 11 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 11 | 9 | 11 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 11 | 9 | 10 |

Beräkningsbilaga

4.2.7 Ventiler 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 3 | 3 | 3 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 3 | 3 | 3 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 3 | 3 | 3 |

4.2.8 Ventiler: 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|-----|----|----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 148 | 41 | 74 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 122 | 30 | 55 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 22 | 19 | 24 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 21 | 18 | 22 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 21 | 17 | 22 |

4.2.9 Pallställ 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 2 | 1 | 2 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 2 | 1 | 2 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 2 | 1 | 2 |

4.2.10 Pallställ: 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 37 | 24 | 30 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 27 | 20 | 23 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 11 | 9 | 11 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 11 | 9 | 10 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 11 | 8 | 10 |

4.2.11 Kompressor 2: 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 4 | 3 | 4 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 4 | 3 | 4 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 4 | 3 | 4 |

Beräkningsbilaga

4.2.12 Kompressor 2: 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|-----|----|-----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 191 | 61 | 115 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 162 | 44 | 87 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 33 | 26 | 31 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 31 | 25 | 30 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 30 | 24 | 29 |

4.2.13 Kompressor 3: 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 5 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 5 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 5 |

4.2.14 Kompressor 3: 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 81 | 56 | 66 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 70 | 45 | 55 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 43 | 34 | 41 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 41 | 33 | 39 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 39 | 32 | 38 |

4.2.15 Slang: 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 5 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 5 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 5 |

4.2.16 Slang: 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 67 | 46 | 61 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 56 | 35 | 55 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 36 | 29 | 35 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 35 | 28 | 33 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 34 | 27 | 32 |

Beräkningsbilaga

4.2.17 Rörledning: 10%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|----|----|----|
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | - | - | - |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 5 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 4 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 5 | 4 | 4 |

4.2.18 Rörledning: 100%

| Overpressure Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|---------------------------------------------|-----|----|----|
| 100 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 127 | 40 | 65 |
| 300 mbar overpressure contour (Expl ME NGD) | 104 | 29 | 48 |

| Heat Radiation Contours distance [m] | F2 | D5 | D2 |
|-------------------------------------------------------|----|----|----|
| 10 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 22 | 18 | 21 |
| 15 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 21 | 17 | 20 |
| 20 kW/m ² heat radiation contour (JetFire) | 20 | 16 | 19 |

Beräkningsbilaga

Referenser

- [1] TNO Riskcurves, "RISKCURVES 10.1.9.12276," 2018. [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/environment-sustainability/public-safety/riskcurves-software-for-quantitative-risk-assessment/>.
- [2] TNO Purple Book, "Guidelines for quantitative risk assessment "Purple book", " 2005b. [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/environment-sustainability/public-safety/the-coloured-books-yellow-green-purple-red/>.
- [3] SMHI, "Öppna data," 04 09 2018. [Online]. Available: <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/#>.
- [4] FOI, "Osäkerheter i observationer och beräkningar," Totalförsvarets forskningsinstitut., FOI-R--3764--SE, 2013.
- [5] T. Lackman, "Brand och explosion i vätskor och gaser," IPS, 2018.
- [6] TNO Green Book, "Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials Green Book," 1992. [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/environment-sustainability/public-safety/the-coloured-books-yellow-green-purple-red/>.
- [7] S. N. Laboratories, "Hydrogen Risk Assessment Models (HyRAM) Version 4.1 Technical Reference Manual," 2021.
- [8] Gexcon, "Technical Note, Use of Effects for Hydrogen Modelling," 2020.