SÄKERHETSPARTNER

PM-Riskutredning Ammoniakanläggning

Kompletterande utlåtande

Datum ursprunglig riskutredning:	2025–04–17
Datum:	2025–09–11
Projekt:	Nybyggnad av Ishall Stenkullen inom kvarteret Kålkulla 1:38 inom Lerums kommun.
Dokumentstatus:	Kompletterande PM
Beteckning:	0

Uppdragsansvarig	James Lundström
Mobil:	070-694 70 24
E-post:	james.lundstrom@sakerhetspartner.se
Org. Nr.:	556419–4057

1 Allmänt

1.1 Bakgrund

Syftet med detta PM är att tydliggöra slutsatser och resultat från den tidigare genomförda riskutredningen för området kring Stenkullen, med särskilt fokus på detaljplanen för ny ishall. PM:et har tagits fram utifrån kommentarer från detaljplansgranskningen och är avsett att underlätta beslutsfattare i planprocessen genom att sammanfatta de väsentliga resultaten, förtydliga föreslagna åtgärder samt klargöra vad riskutredningens resultat innebär för markanvändningen.

Genom detta PM kan beslutsfattare snabbt ta del av riskutredningens centrala delar och fatta informerade beslut i samband med detaljplanens antagande.

1.2 Dokumentets omfattning

Detta kompletterande PM syftar enbart till att förtydliga resultat och slutsatser från den ursprungliga riskutredningen och ska inte ses som en ändring av densamma. Inga förändringar har gjorts i riskutredningens innehåll, bedömningar eller slutsatser. Alla förutsättningar som låg till grund för upprättandet av den ursprungliga riskutredningen gäller fortsatt och utgör den bas som detta PM bygger på.

1.3 Kvalitetssäkring och kontroll

Denna handling omfattas av internkontroll i enlighet med Säkerhetspartners kvalitetssystem. Säkerhetspartner är certifierade enligt ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 samt ISO 45001:2018. Detta innebär bland annat att annan sakkunnig granskar förutsättningar och redovisade lösningar i riskutredningen.

2 Grundläggande projektförutsättningar

2.1 Områdesbeskrivning

Ishallen byggs i Lerum kommun, cirka 3 km nordost om centrala Lerum, sammanbyggd med befintlig Vättlehallen. I närområdet finns:

- Förskola: cirka 110 m sydväst
- Skola och fritidsgård: cirka 170 m sydost
- Bostadsbebyggelse: cirka 170 m norr, öst och sydväst
- Utomhusytor för friidrott, skateboard och fotboll norr, öst och söder

Topografin är relativt plan, med en mindre höjdskillnad cirka 250 m österut som är sparsamt befolkad.

2.2 Objektsbeskrivning

- Byggnaden omfattar ett våningsplan och ett entresolplan för ammoniakbärande utrustning (max ca 150 personer i byggnaden).
- Byggnadsklass Br3, med automatiskt brand- och utrymningslarm. Räddningstjänstens inställelsetid understiger 10 minuter.

2.3 Maskinutrymme och kylanläggning

- Maskinutrymme: 140 m^2, 3 m takhöjd.
- Två kylmaskiner med 75 kg ammoniak vardera, totalt 150 kg.
- Maskinutrymme utformas enligt Svensk Kylnorm med ammoniaklarm och blixtljus.
- Utloppshöjd för säkerhetsventiler: 5 m; nödventilation: 3 m (utreds höjning till 3,5 m).
- Systemtryck: högtryck 25 bar, lågtryck 15 bar.

3 Scenarier för riskanalys

Scenario A – Utsläpp via säkerhetsventiler

- Kortvarigt gasfasutsläpp på cirka 5 meters höjd.
- Simuleringar visar att AEGL-3 (dödlig nivå) aldrig uppnås; AEGL-2 (skadlig nivå) kan tillfälligt överskridas men risk bedöms acceptabel.

Scenario B – Utsläpp via nödventilation

- Utsläpp via maskinrummets ventilation.
- AEGL-2 kan överskridas om ventilationsmynning placeras på 3 m; höjning till 3,5 m gör risknivån acceptabel.

Invändig spridning inom byggnaden

- Maskinrummet är låst och otillgängligt för obehöriga.
- Goda utrymningsmöjligheter för angränsande lokaler.
- Skyddsåtgärder i enlighet med Svensk Kylnorm (säkerhetsventiler, nödventilation, larm) gör att vidare analys inte behövs.

4 Riskvärdering

- Personer inomhus i närområdet: inga skadliga eller dödliga koncentrationer uppnås, risknivån acceptabel.
- Personer utomhus: AEGL-2 kan tillfälligt överskridas, men kort exponeringstid och spädning gör risken acceptabel.
- Personer inom maskinrummet: risk för höga koncentrationer för personal som vistas där, men med ammoniaklarm, utrymningsrutiner och utbildad personal är risken acceptabel.

5 Åtgärder och rekommendationer

- Säkerhetsventiler ska placeras på minst 5 meters höjd ovan mark.
- Nödventilation: ska placeras på en höjd om minst 3,5 meters höjd från marknivå och uppfylla ett flöde om minst 889 m^3/h Nödventilationen ska vara kopplad till ammoniaklarmet i maskinutrymmet.
- Maskinutrymmet ska utformas enligt Svensk Kylnorm och brandtekniskt avskiljas från övriga utrymmen.

- Tydliga rutiner för underhåll och service av ammoniaksystem ska finnas och efterföljas.
- Konsultation med räddningstjänsten rekommenderas för eventuellt behov av insatskort.

6 Slutsatser

Sammanfattningsvis visar riskutredningen att de risker som är förknippade med ammoniakhanteringen i Ishall Stenkullen, inklusive de två slutna kylsystemen i maskinutrymmet, är acceptabla. Detta gäller för personer i byggnaden, för personer utomhus och inomhus i närområdet samt för personal som vistas i maskinrummet, under förutsättning att de åtgärder som presenteras i avsnitt 5 implementeras och att angivna förutsättningar inte förändras.

Det är viktigt att understryka att denna bedömning enbart avser de risker som omfattas av ammoniakhanteringen på platsen och inte tar ställning till andra riskkällor inom planområdet.

Då riskutredningen är en del av detaljplaneprocessen har slutsatserna även prövats mot kraven i 2 kap. 4 § plan- och bygglagen (PBL), där det framgår att planläggning ska säkerställa människors hälsa och säkerhet. Riskutredningens resultat visar att riskerna för allvarliga konsekvenser till följd av ammoniakhantering är hanterade och att åtgärder finns för att minimera kvarstående risker.

Mot denna bakgrund kan området, utifrån ammoniakhanteringen, anses lämpligt för den planerade markanvändningen och nybyggnationen av ishallen enligt gällande PBL-förutsättningar.

Upprättad av:	**Granskad av:**
James Lundström	Mattias Ödén
Säkerhetspartner Norden AB	Säkerhetspartner Norden AB

SÄKERHETSPARTNER

Riskutredning Ammoniakanläggning

Datum:	2025–04–17
Projekt:	Nybyggnad av Ishall Stenkullen inom kvarteret Kålkulla 1:38 i Lerum kommun.
Dokumentstatus:	Bilaga
Beteckning:	0

Uppdragsansvarig	James Lundström
Mobil:	070-694 70 24
E-post:	james.lundstrom@sakerhetspartner.se
Org. Nr.:	556419-4057

Sammanfattning

Säkerhetspartner Norden AB har fått i uppdrag av Lerums kommun att genomföra en riskanalys avseende den tilltänkta ammoniakhanteringen inom Ishall Stenkullen. Syftet har varit att identifiera, analysera och värdera risker som ammoniaken till för samt eventuella skyddsåtgärder för att hantera risker som inte anses vara acceptabla.

Riskutredningen påvisar att utifrån de gällande förutsättningarna som förmedlats till Säkerhetspartner Norden AB så medför ammoniakhanteringen en acceptabel riskpåverkan på övriga delar av ishallen och omkringliggande närområde såvida följande efterföljs:

- Säkerhetsventiler placeras på en höjd om lägst 5 meter ovan mark
- Nödventilationsmynning placeras på en höjd om lägst 3,5 meter ovan mark, med ett nödventilationsflöde om lägst 889 m^3/h. Nödventilationen ska var kopplat till ammoniaklarmet i maskinutrymmet
- Utformning av maskinutrymmet i enlighet med Svensk Kylnorm
- Tydliga rutiner för underhåll och servicearbeten, inklusive dörrar i fasad
- Maskinutrymmet brandtekniskt avskiljs från övriga utrymmen för att minska risken för brandspridning och spridning av giftig gas till och från intilliggande utrymmen.

Det rekommenderas även att räddningstjänsten konsulteras avseende behov av insatskort, med hänsyn till de risker som ammoniak kan innebära vid räddningstjänstinsats.

I det fall avvikelser mot de förutsättningar som förmedlats till Säkerhetspartner Norden AB genomförs en ny riskbedömning genomföras.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING **2**

1 ALLMÄNT **4**

1.1 BAKGRUND 4
1.2 SYFTE OCH MÅL 4
1.3 AVGRÄNSNINGAR 4
1.4 KRAVBILD 4
1.5 KVALITETSSÄKRING OCH KONTROLL 4

2 PROJEKTFÖRUTSÄTTNINGAR **5**

2.1 OMRÅDESBESKRIVNING 5
2.2 OBJEKTSBESKRIVNING 6
2.3 BESKRIVNING AV MASKINUTRYMME OCH KYLANLÄGGNING 7

3 METOD FÖR RISKHANTERING **8**

3.1 RISKHANTERINGSMETODIK 8
3.2 RISKIDENTIFIERINGSMETODIK 8
3.3 RISKANALYSMETODIK 8
3.4 RISKVÄRDERINGSMETODIK OCH RISKREDUCERANDE ÅTGÄRDER 9
3.5 HANTERING AV OSÄKERHETER 9

4 RISKIDENTIFIERING **10**

4.1 SKYDDSVÄRDEN 10
4.2 RISKKÄLLOR 10
4.3 SCENARIER 11
4.3.1 Utsläpp via säkerhetsventiler (Scenario A) 11
4.3.2 Utsläpp via frånluftsfläkt (Scenario B) 11
4.3.3 Invändig spridning av ammoniak 12
4.3.4 Utvändig spridning av ammoniak via dörrar i fasad 12

5 RISKANALYS **13**

6 RISKVÄRDERING **14**

6.1 PERSONER INOMHUS I NÄROMRÅDET 14
6.2 PERSONER SOM BEFINNER SIG UTOMHUS I NÄROMRÅDET 14
6.3 PERSONER INOM MASKINUTRYMMET 15

7 SLUTSATS **16**

8 REFERENSER **18**

BILAGA A – KONSEKVENSBERÄKNINGAR **19**

BERÄKNINGSGÅNG UTSLÄPP VIA SÄKERHETSVENTIL 19
BERÄKNINGSGÅNG UTSLÄPP VIA VENTILATION 20
SCENARIERNAS SPRIDNINGSSIMULERINGAR 25

BILAGA B – ALOHA **30**

BILAGA C – PASQUILLS STABILITETSKLASSER **31**

1 Allmänt

1.1 Bakgrund

På uppdrag av Lerums kommun har Säkerhetspartner Norden AB upprättat denna riskutredning avseende nybyggnation av en ishall på fastigheten Kålkulla 1:38 i Lerum.

Ishallen är planerad att använda ammoniak (NH_3) som köldmedium i kylsystemet. Ammoniak är ett effektivt köldmedium men har också toxikologiska och brandfarliga egenskaper, vilket kräver en noggrann riskanalys för att säkerställa en säker hantering och drift. Särskilt viktiga aspekter att beakta är potentiella läckagerisker, ventilationslösningar, hantering av nödavstängning samt säkerhetsåtgärder för att minimera påverkan på både personal och allmänhet vid en eventuell incident. Riskutredningen genomförs i enlighet med gällande regelverk och bransstandarder för att säkerställa att en trygg och lagstadgad hantering av ammoniak.

1.2 Syfte och mål

Riskutredningen har genomförts i syfte att identifiera potentiella skadehändelser (scenarier) relaterade till hanteringen av ammoniak inom kylanläggningen i Ishall Stenkullen. Utredningen omfattar en analys av möjliga orsaker till dessa händelser samt de konsekvenser de kan medföra för personer både inom ishallen och i dess omgivning.

Målet med riskutredningen är att bedöma behovet av säkerhetsåtgärder för att säkerställa en trygg hantering och förvaring av ammoniak. Vidare syftar utredningen till att säkerställa att hanteringen överensstämmer med gällande lagstiftning och föreskrifter för att minimera risker och upprätthålla en säker miljö.

1.3 Avgränsningar

Denna riskbedömning fokuserar enbart på tekniska olycksrisker med direkt påverkan på människors liv och hälsa. Risker kopplade till naturolyckor, såsom ras, skred, erosion och jordbävningar, samt antagonistiska handlingar ingår inte.

Hälsoeffekter av långvarig exponering, avsiktliga angrepp och miljö- eller egendomsskador beaktas endast om de utgör en direkt risk för personskada.

Enbart hanteringen av ammoniak i den planerade nybyggnationen av Ishall Stenkullen hanteras, ammoniakhanteringen i den befintliga ishallen Vättlehallen hanteras ej i denna riskutredning.

1.4 Kravbild

Entreprenörer ska utföra anläggningen så att samtliga gällande direktiv, lagar, förordningar och föreskrifter uppfylls. Kylanläggningen ska uppföras i enlighet med Svensk Kylnorm och Europeisk kylsäkerhetsstandard.

1.5 Kvalitetssäkring och kontroll

Denna handling omfattas av internkontroll i enlighet med Säkerhetspartners kvalitetssystem. Säkerhetspartner är certifierade enligt ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 samt ISO 45001:2018. Detta innebär bland annat att annan risksakkunnig granskar förutsättningar och redovisade lösningar av skyddslösningar.

2 Projektförutsättningar

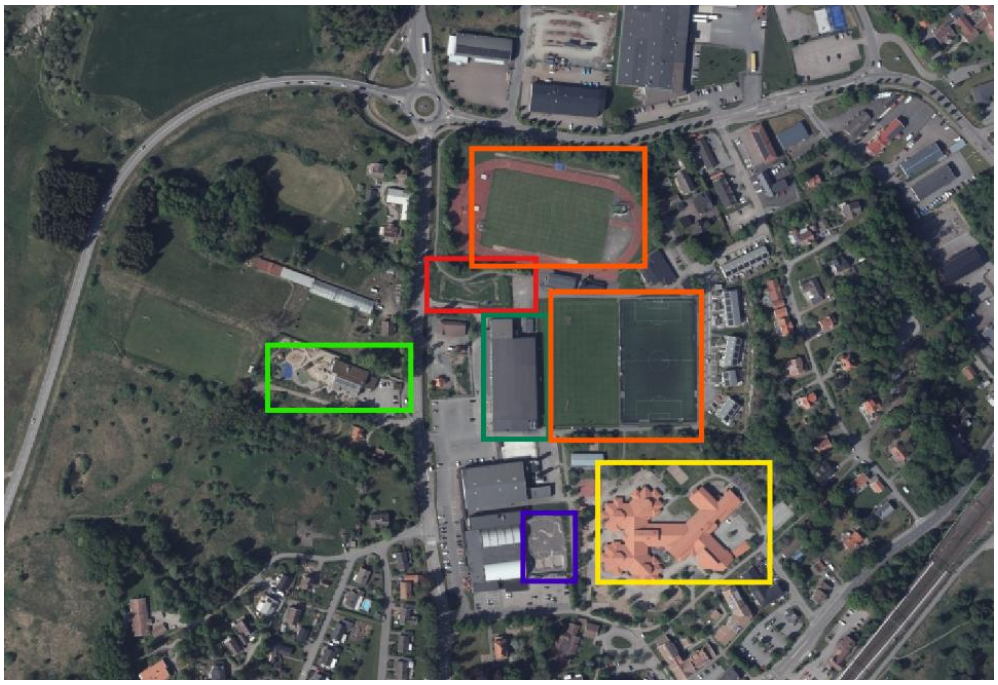
2.1 Områdesbeskrivning

Området där Ishall Stenkullen ska uppföras är beläget i Lerum kommun och ligger cirka 3 km nordost om Lerums centrala delar.

På området finns i dagsläget Vättlehallen Ishall. Den planerade ändringen som ska genomföras är att denna ska byggas samman med nybyggnation i form Ishall Stenkullen.

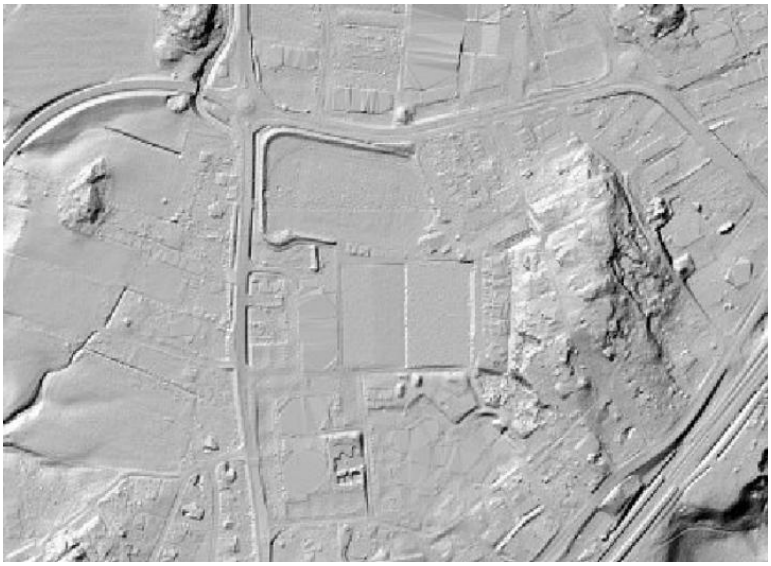
I närområdet till den planerade Ishall Stenkullen finns det utöver den befintliga ishallen följande:

- Förskola cirka 110 meter sydväst
- Utomhusaktiviteter i form av friidrotts-, skateboard- och fotbollsytor, direkt norr och öst och söder
- Skola och fritidsgård cirka 170 meter sydost
- Bostadsbebyggelse på ett avstånd om cirka 170 meter norr, sydöst, öst och sydöst samt sydväst
- I västlig och nordvästlig riktning utöver förskolan utgörs markanvändningen av öppen obebyggd mark.



Figur 1. Den planerade nybyggnationen av ishallens (röd markering) närområde. Förskola markerad ljusgrön, skola / fritidsgård markerad gul, forboll- och friidrottsytor marekerade orange och skateboardyta markerad blå. Befintlig ishall markerad grön.

Omgivande ytor bedöms vara i relativt samma höjdnivå, d.v.s. att det inte förekommer några väsentliga skillnader i topografi i ishallens närområde. En viss höjdskillnad förekommer i östlig riktning på ett avstånd om cirka 250 meter. Området där denna topografiska förhöjning förekommer är sparsamt befolkad, se Figur 1. Se Figur 2 för områdets topografiska skillnader.



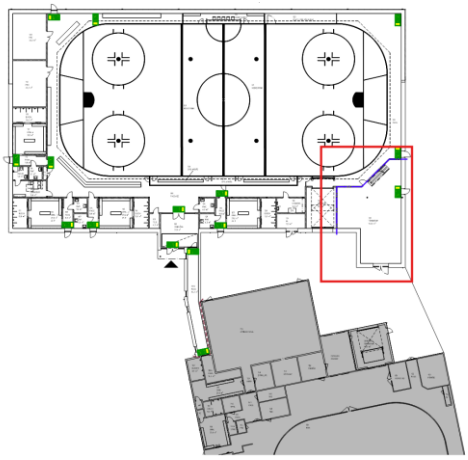
Figur 2. Topografisk karta för aktuellt område.

2.2 Objektsbeskrivning

I det aktuella projekteringsstadiet planeras ishallen att omfatta en våning samt ett entresolplan, beläget ovan det utrymme som är avsett för ammoniakbärande utrustning. Entresolplanet utgör inte ett våningsplan. Totalt beräknas ca 150 personer befinna sig i byggnaden samtidigt, som utgör publik lokal (med undantag för hockeyrinken och teknikutrymmen). Ishall Stenkullen byggs samman med närliggande befintlig ishall Vättlehallen och en stor brandsektion med yta som överstiger 2 500 m^2 men understiger 5 000 m^2.

Byggnaden hänförs till byggnadsklass Br3 och anordnas med ett heltäckande automatiskt brand- och utrymningslarm. Inställelsetid för räddningstjänsten understiger 10 minuter.

Nedan presenteras utformningen av ishallen i aktuellt projekteringsstadiet.



Figur 3. Ishallens tilltänkta utformning. Utrymme där ammoniakbärande utrustning ska placeras markerad med röd rektangel.

2.3 Beskrivning av maskinutrymme och kylanläggning

Maskinutrymmet där de kylanläggningen ska placeras är beläget i rödmarkerad rektangel i Figur 3 och kommer uppmäta en golvarea om 140 m^2 och ha en höjd om 3 meter till tak. Intilliggande utrymmen utgörs av passage, hockeyrinken och ismaskinsutrymme. Ovan teknikutrymmet i bottenplan kommer en entresol om cirka 100 m^2 avsett för övrig teknik finnas belägen.

Maskinutrymmet kommer vara försett med tre dörrar, varav 2 är direkt till det fria. Det förutsätts att dörrar till maskinutrymmet i normalfallet är stängda och låsta.

I maskinutrymmet / teknikutrymmet ska två lika stora kylmaskiner installeras och utgör var för sig ett slutet system. Kylmaskinerna ska betjäna ispister i ishallen och innehålla R717 ammoniak som köldmedium. Respektive kylmaskin kommer vara fylld med 75 kg ammoniak. Sammantaget kommer det således i maskinutrymmet förekomma 150 kg ammoniak.

Maskinutrymmet ska utföras i enlighet med Svenska Kylnorm, däribland avseende installation av blixtljus och ammoniaklarm med automatisk detektion. Ammoniaklarmet ska vara försett med tre larmnivåer:

Förlarm (C) som aktiveras vid 5% LFL och som larmar personal och automatiskt startar nödventilationen.

Driftlarm (B) som aktiveras vid 20% LFL och som ska stoppa allt kyl- eller värmepumpmaskineri med undantag för ventilationsfläktar samt annan elutrustning som kan förorsaka gnistbildning.

Höglarm (A) som aktiveras vid 20% LFL och ska utrymma närliggande lokaler och tillkallelse av lokal räddningstjänst.

Då maskinutrymmet är i ett projekteringsstadium så är inte höjder för säkerhetsventilationsutloppsmynning och nödventilationsutlopp fastställda ännu. De höjder som utreds utifrån är en höjd om 5 meter ovan mark för utloppet av säkerhetsventilerna och en höjd om 3 meter för nödventilationsutloppet.

Respektive ammoniaksystem har ett maxtryck om 25 bar på högtryckssidan och ett maxtryck om 15 bar på lågtryckssidan.

3 Metod för riskhantering

Detta avsnitt beskriver den metodik som används för att identifiera, analysera och hantera risker inom det aktuella projektet.

3.1 Riskhanteringsmetodik

Riskhanteringsprocessen för aktuellt projekt grundar sig på de principer som illustreras i Figur 4 och följer Boverkets riktlinjer avseende riskhantering samt MSB:s handbok för riskanalys (Davidsson, 2003; Boverket, 2021) . De följande underavsnitten redogör för processens olika steg och den tillämpade metodiken.

Figur 4. Riskhanteringsprocessen som nyttjats i riskutredningen, anpassad utifrån ISO 31000 (Boverket, 2021).

3.2 Riskidentifieringsmetodik

Riskidentifieringen syftar till att systematiskt kartlägga potentiella riskkällor inom verksamheten. I detta projekt är den primära riskkällan ammoniak, vilket innebär att identifieringsarbetet fokuserar på de risker som uppstår vid hantering av ämnet i kylsystemet.

Riskidentifieringen omfattar hanterade mängder ammoniak, generella risker associerade med ämnet, placeringen av ammoniakförande utrustning inom ishallen samt en grundläggande beskrivning av den planerade processen.

3.3 Riskanalysmetodik

Efter genomförd riskidentifiering utförs riskanalysen med en deterministisk metod, där potentiella scenarier definieras och analyseras för att fastställa deras konsekvenser.

Urvalet av scenarier baseras på en kombination av forskningsunderlag, historiska olyckshändelser och de specifika förutsättningar som gäller för projektet. I denna riskutredning uttrycks konsekvensen i form av ett konsekvensavstånd, vilket definierar ett riskområde där personer utomhus kan förväntas drabbas av livshotande eller allvarliga skador vid en olycka.

För att beräkna konsekvensavstånd och riskområde genomförs spridningssimuleringar av det aktuella giftiga ämnet, ammoniak. För att hantera naturliga variationer inkluderas simuleringar för stabilitetsklasser B, D och F (se Bilaga C) samt olika vindhastigheter.

Ammoniakkoncentrationer vid ett potentiellt utsläpp inom det definierade riskområdet beräknas med hjälp av programvaran ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), version 5.4.7., som har utvecklats av EPA (Environmental Protection Agency) och NOAA

(National Oceanic and Atmospheric Administration). För en detaljerad beskrivning av programvaran, se Bilaga B.

3.4 Riskvärderingsmetodik och riskreducerande åtgärder

För att genomföra en riskvärdering jämförs de simulerade förhållandena med etablerade skadekriterier för ammoniak. I denna utredning används Acute Exposure Guideline Levels (AEGL), då dessa riktvärden är specifikt framtagna för att bedöma akuta inhalationsexponeringar och utgör ett vedertaget verktyg inom denna typ av riskanalyser.

AEGL är indelat i tre nivåer, vilket möjliggör en differentiering mellan milda, allvarliga och livshotande hälsoeffekter. I detta projekt fokuserar utredningen enbart på allvarliga (AEGL-2) och livshotande effekter (AEGL-3), vilka redovisas i Tabell 3-1 nedan.

Tabell 3-1. Skyddskriterium för denna utredning (EPA, 2024).

Effekter på oskyddade människor (utomhus)	Tid för exponering [min]	Koncentration av ammoniak som medför denna effekt [PPM]
AEGL-2. Potentiellt allvarliga effekter och medförande av bestående skador.	10–30	220
AEGL-3. Potentiellt livshotande effekter som medför att individen avlider.	10	2 700

En jämförelse mellan de fastställda skadekriterierna och de ammoniakkoncentrationer som beräknats i spridningssimuleringarna möjliggör en avgränsning av det område där ammoniakutsläpp från ishallen kan påverka personer i omgivningen. Utifrån denna jämförelse värderas det huruvida risken som ammoniaken påför skyddsvärdena är acceptabel eller ej. I det fall en risk bedöms som oacceptabel tas riskreducerande åtgärder fram för att hantera risken till dess att den anses som acceptabel.

3.5 Hantering av osäkerheter

Vid genomförandet av konsekvensberäkningar för en potentiell ammoniakläcka har både massflödesberäkningar och spridningssimuleringar utformats enligt en konservativ ansats där det varit möjligt. Syftet med denna metodik är att säkerställa att de uppskattade konsekvenserna inte underskattas, vilket i sin tur bidrar till en högre säkerhetsmarginal i riskbedömningen.

I spridningsprogrammet ALOHA görs förenklingar av komplexa fysiska fenomen, särskilt avseende meteorologiska parametrar såsom vindhastighet och atmosfärens stabilitetsklass. I verkligheten varierar dessa faktorer dynamiskt, medan ALOHA-modellen antar konstanta förhållanden utan hänsyn till lokala omgivningsförhållanden. Detta innebär att programmet förenklar terrängens och infrastrukturens påverkan på luftströmmar, vilket resulterar i en modell där spridningen av ammoniakgas antas ske homogent över området.

I praktiken är dock detta inte fallet. Lokala förhållanden, såsom byggnader, vegetation och andra strukturer, påverkar luftflödet genom att skapa områden med lä och turbulens. På platser med lä kan ammoniakkoncentrationer bli högre än vad modellen förutspår, medan de på mer turbulenta platser kan bli lägre. Denna förenkling bedöms dock ha en begränsad inverkan på det övergripande resultatet, då den täcks in av de konservativa antaganden som används i övriga delar av analysen.

För att hantera osäkerheter i de ingående parametrarna genomförs löpande en känslighetsanalys. Denna innebär att variabler med hög osäkerhet systematiskt varieras för att bedöma deras inverkan på det slutliga resultatet. På så sätt säkerställs att analysen är robust och att eventuella avvikelser från verkliga förhållanden inte leder till en underskattning av riskerna.

4 Riskidentifiering

Detta avsnitt redogör för den systematiska processen för riskidentifiering inom det aktuella projektet. Identifieringen inleds med en bedömning av de skyddsvärden som ska beaktas, följt av en identifiering av relevanta riskkällor med potentiell påverkan på dessa. Utifrån denna kartläggning utformas olycksscenarier som på ett representativt sätt beskriver möjliga utsläppshändelser och deras konsekvenser. Syftet är att säkerställa en strukturerad och heltäckande hantering av de risker som kan uppstå, samt att skapa underlag för lämpliga riskreducerande åtgärder.

4.1 Skyddsvärden

I avsnittet 1.3 framgår det att det primära skyddsvärdet i denna utredning är att säkerställa människors liv och hälsa i närområdet kring den ammoniak som ska hanteras i Ishallen Stenkullen.

4.2 Riskkällor

Den aktuella riskkällan som denna utredning syftar till att analysera utgörs av ishallens ammoniakbärande utrustning, och mer i detalj ammoniaken i systemen. Ammoniak som används i kyl- och frysanläggningar utgörs i allmänhet av vattenfri ammoniak med en renhetsgrad på minst 99,96 %. Detta innebär att ämnet i princip är helt fritt från föroreningar och består nästan uteslutande av ammoniak i sin rena form. Vattenfri ammoniak används inom kyl- och fryssystem på grund av dess gynnsamma termodynamiska egenskaper, såsom hög förångningsvärme och energieffektivitet (Länsstyrelsen Skåne, 2023).

Ammoniak kan vara i både gas- och vätskefas. Ammoniak (NH_3) (CAS 7664-41-7) är en flyktig, toxisk och vid höga koncentrationer inomhus en brännbar gas. Ammoniak har ett brännbarhetsområde mellan 15–28 volym-% och kräver en energirik antändningskälla för att antändas och utgöra en brandrisk (Almgren, 2007).

Gasens påverkan på människor påvisar sig tidigt redan vid låga koncentrationer. Ammoniaken utgör en risk för människor via ett antal exponeringsvägar, där de primära exponeringsvägarna utgörs av andningsvägar och hudkontakt. Ammoniaks symptom kännetecknas genom att leda till svullnad i strupen, medvetslöshet och lungödem via exponeringsväg i form av andningsväg. Via exponeringsväg i form av hud kännetecknas ammoniak ge sveda och frätskador. När ammoniaken befinner sig i flytande form är ammoniaken kall och kan leda till köldskador på oskyddad hud. Detta till följd av ammoniakens låga kokpunkt på cirka -33,4 °C vid atmosfärstryck (MSB, 2024).

Nedan beskrivs generella riktvärden avseende människans reaktion på ammoniak:

Tabell 4-1. Generella riktvärden avseende koncentration och symptom för människor.

Koncentration [PPM]	Symptom
1–50	Förnimbar
25	Hygieniskt gränsvärde
100	Irritation av näsa och ögon efter någon minut, tillvänjning möjlig
500	Allvarlig ögonpåverkan
700	Allvarlig hosta
>1000	Potentiellt livsfarligt, allvarliga lungödem

4.3 Scenarier

Ammoniak är, som presenterat i avsnitt 4.2, klassificerat som en toxisk gas och som under vissa förhållanden kan vara brännbar. Generellt är toxiciteten mer dimensionerande än brännbarheten, däremot kan ett utsläpp i ett slutet utrymme (maskinrummet) leda till koncentrationer av ammoniak som befinner sig i brännbarhetsområdet. Det är därför av stor vikt att räddningstjänsten görs medvetna om den potentiella faran och det bör utredas ifall ishallen ska förses med ett insatskort som redogör för att det förekommer ammoniak, hur stor mängd och var i ishallen ammoniaken är placerad.

Riskanalysen kommer fokusera på konsekvenser av ett utsläpp och beaktar scenarier där ammoniak kan frigöras antingen i vätskefas eller gasfas inom byggnaden, samt i gasfas utanför byggnaden. Dessa risker ska omfattas i de scenarier som kommer utredas vidare i riskanalysen.

Nedan presenteras potentiella scenarier och beslut ifall respektive scenario behöver analyseras i detalj.

4.3.1 Utsläpp via säkerhetsventiler (Scenario A)

Det planerade ammoniaksystemet ska utformas för att möjliggöra kontrollerade utsläpp av ammoniak till det fria via säkerhetsventiler kopplade till en dedikerad utsläppsledning. Denna säkerhetsfunktion är avsedd att förhindra okontrollerade utsläpp inom kylsystemet och aktiveras vid en snabb tryckuppbyggnad i systemet. Möjliga orsaker till en sådan tryckökning inkluderar extern påverkan, såsom en intilliggande brand, eller tekniska fel i systemets kompressor.

I den aktuella byggnaden ska säkerhetsventilerna placeras så att utsläpp sker vid byggnadens tak på en höjd av cirka 5 meter. Utsläppet förväntas vara kortvarigt och ske i intervaller, eftersom säkerhetsventilen öppnas vid ett förhöjt tryck men därefter stänger när trycket återgår till acceptabla nivåer.

Denna typ av utsläpp förutsätts enbart ske i gasfas, då ammoniaken leds ut på hög höjd ovanför ishallens tak. Därmed förhindras att kondenserade droppar bildas och sprids via utsläppsledningen.

Utsläppets varaktighet beräknas utifrån den mängd ammoniak som hanteras i verksamheten och som kan frigöras vid en enskild olyckshändelse. Den detaljerade beräkningsgången redovisas i Bilaga A.

4.3.2 Utsläpp via frånluftsfläkt (Scenario B)

Vid ett ammoniakläckage i maskinrummet kan utsläpp även ske via forcerad ventilation / nödventilation. Syftet med detta är att förhindra spridning av ammoniak till intilliggande utrymmen inom byggnaden genom att ventilera ut gasen till det fria.

Om ett läckage inträffar i maskinrummet aktiveras det ammoniaklarm som ska installeras i utrymmet i enlighet med Svensk Kylnorm, vilket automatiskt stänger av till- och frånluften för grundventilationen. Ventilationen förblir avstängd tills räddningstjänsten anländer och tar kontroll över systemet. Utrymmet ska även vara försett med en nödventilation (frånluftsfläkt) som forceras / aktiveras på hög temperatur samt aktiverat förlarm från ammoniaklarmet. Detta är således det utsläpp scenario B avser att utreda och säkerställa att personer i ishallens omgivning inte utsätts för oacceptabla koncentrationer av ammoniak.

För att ett okontrollerat utsläpp via ventilationen ska kunna ske krävs det att antingen larmfunktionen eller ventilationsspjällen, som stänger av luftflödet, är ur funktion vid ett pågående läckage. Detta scenario bedöms som osannolikt, då ventilationsspjäll enligt föreskrifter ska testas och motioneras regelbundet. Dessutom är ammoniaklarmet utrustat med en felövervakningsfunktion som skickar en signal vid systemfel.

Vid beräkningarna antas den ventilerade gasen bestå av 100 % ammoniak, vilket utgör ett konservativt antagande. Ventilationsfläkten antas placeras på en höjd om cirka 3 meter. Utsläppets varaktighet beräknas utifrån den mängd som redovisas i avsnitt 2.3, och den detaljerade beräkningsgången återfinns i Bilaga A.

4.3.3 Invändig spridning av ammoniak

Som framgår av avsnitt 4.3.1 och 4.3.2 ska skyddsåtgärder implementeras för att säkerställa att ammoniak inte sprids invändigt inom byggnaden.

Vid ett ammoniakläckage kan potentiellt personer som befinner sig i läckagets direkta närhet skadas. De ammoniakbärande systemdelarna ska dock placeras inom ishallens maskinrum, som är beläget så att den är svåråtkomlig för personer som inte ska vara där, samt att dörrar in till utrymmet generellt kommer vara låsta. Maskinrummet är inget utrymme personer vanligen kommer vistas inom och sannolikheten för att någon kommer vistas där när ett eventuellt utsläpp sker bedöms som osannolikt.

För personer i angränsande lokaler inom ishallen, men utanför maskinrummet, bedöms goda möjligheter finnas för utrymning innan ammoniakkoncentrationen når skadliga nivåer. Byggnaden är projekterad i enlighet med gällande krav på utrymning, vilket säkerställer en trygg och effektiv evakuering vid ett eventuellt läckage.

Därtill ska maskinrummet konstrueras för att vara tätt samt utrustats med säkerhetsventiler och forcerad nödventilation, vilket säkerställer skydd mot ammoniakspridning invändigt, se avsnitt 2.3 för beskrivning av ventilationsstyrning och nödventilation.

Ammoniak kan potentiellt spridas via dörr som vetter in mot resterande delar av ishallen. Detta bedöms däremot som osannolikt med hänsyn till att denna typ av dörrar i normalfallet är stängda och låsta. Generellt ska dessa dörrar vara självstängande om de leder till andra delar av byggnaden, likt de är i aktuell utformning.

Detta scenario bedöms hanteras med ovanstående två scenarier samt att maskinrummet utförs i enlighet med standarder avseende dimensionering av säkerhetssystem, larmnivåer, underhåll med mera och behöver inte analyseras vidare i detalj.

4.3.4 Utvändig spridning av ammoniak via dörrar i fasad

Som beskrivits i avsnitt 2.3 är utrymmet försett med två dörrar i fasaden, vilket innebär att ett eventuellt ammoniakutsläpp kan ske på ett sätt liknande det som presenteras i avsnitt 4.3.2. I detta scenario sprids ammoniaken direkt ut i det fria genom eventuellt öppna dörrar, i stället för att enbart spridas via ventilationen.

Eftersom olyckor relaterade till ammoniakutsläpp ofta kan härledas till underhålls- och servicearbeten, är det av stor vikt att dessa dörrar – som i normalfallet förväntas vara stängda – även hålls stängda under sådana arbeten. Detta för att förhindra att ett utsläpp medför risk för personer i omgivningen.

Det är därför nödvändigt att rutiner för service- och underhållsarbete innehåller tydliga instruktioner om att fasaddörrarna ska hållas stängda vid denna typ av arbete. Om personal behöver utrymma lokalen via dessa dörrar, ska det säkerställas att de återförs till stängt läge omedelbart efter att samtliga personer har lämnat utrymmet.

Under förutsättning att dessa åtgärder följs, bedöms den mängd ammoniak som momentant kan släppas ut genom en tillfälligt öppen dörr vid utrymning vara obetydlig i sammanhanget. Utsläppet skulle ske under en kort tidsperiod och bedöms därmed inte utgöra en risk för personer i närheten. Med hänsyn till detta utreds scenariot inte vidare i denna riskutredning, men det ställer krav på att tydliga instruktioner integreras i rutiner för service- och underhållsarbete.

5 Riskanalys

I detta avsnitt sammanställs resultaten från analysen av de aktuella olycksscenarierna och dess påverkan på skyddsvärdena, i form av konsekvensavstånd.

Utifrån den information som erhållits av uppdragsgivare samt har erhållits i riskidentifieringen har spridningssimuleringar i ALOHA genomförts för att erhålla de konsekvensavstånd som spänner upp riskområdet för ammoniakutsläppen.

För detaljerad information kring antaganden, beräkningsgång och simuleringsparameterar så återfinns dessa i Bilaga A.

De scenarier som har analytiskt har analyserats är de som presenteras i avsnitt 4.3.1. samt 4.3.2, se tabell nedan för att erhålla konsekvensavstånd för respektive olycksscenario.

Tabell 5-1. Scenariobeskrivning samt de konsekvensavstånd som erhållits utifrån spridningssimuleringarna.

Scenario	Beskrivning	Naturliga variationer (Stabilitetklass och vindhastighet)	Konsekvens-avstånd [meter] AEGL-3 (10 min) 2 700 PPM	Konsekvens-avstånd [meter] AEGL-2 (10–30 min) 220 PPM
A1	Beräkningsscenarierna representerar att 150 kg ammoniak släpps ut genom systemetens säkerhetsventiler till följd av tryckuppbyggnad. Tryckuppbyggnaden medför att båda de ammoniakbärande systemen töms helt och släpper ut ammoniak via utsläppsledningarna vid högt tryck. Utsläppet kan ske vid förhållanden som är mer eller mindre gynnsamma utifrån ett riskbedömningsperspektiv och hanteras därav genom tre scenarier med olika typer av naturliga variationer.	B, 3,5 m/s	-	127
A2		D, 3,5 m/s	-	272
A3		F, 1 m/s	-	1 200
B1	Dessa scenarier representerar att 75 kg släpps ut momentant i maskinrummet för att sedan ventileras ut. Det direkta utsläppet av gas samt förångning av pölen med ammoniak i vätskefas ger ett beräknat massflöde som sedan släpps ut till uteluften via ventilationen.	B, 3,5 m/s	-	-
B2		D, 3,5 m/s	-	-
B3		F, 1 m/s	-	159

Varaktigheten för utsläppen i scenario A uppgår till 4,2 minuter, medan scenario B har en varaktighet på 30 minuter.

Spridningssimuleringarna i ALOHA visar på att dödliga koncentrationer inte uppkommer på något avstånd i de ovan undersökta scenarierna. Avseende skadliga nivåer av ammoniakkoncentrationer så uppmäts dessa på varierande avstånd för scenario A1, A2 och A3 samt för scenario B3.

6 Riskvärdering

För att genomföra en korrekt riskvärdering behöver såväl skadliga som dödliga koncentrationer värderas för:

- Personer som befinner sig inomhus i närområdet
- Personer som befinner sig utomhus i närområdet
- Personer inom maskinutrymmet

Dessa riskvärderingar genomförs i nedanstående underavsnitt.

6.1 Personer inomhus i närområdet

Som presenterat i avsnitt 2.1 förekommer det ett antal byggnader runt den aktuella ishallen, bland annat en förskola, skola och fritidsgård.

Avseende koncentrationer ammoniak inomhus så påvisar resultatet i Bilaga A att skadliga (AEGL-1 samt AEGL-2) eller dödliga (AEGL-3) koncentrationer aldrig uppnås inomhus. Med hänsyn till detta kan det fastslås att säkerhet för personer inomhus är säkerställd och att den risk dessa personer utsätts för är acceptabel.

6.2 Personer som befinner sig utomhus i närområdet

Avseende per som befinner sig utomhus så utsätts de generellt för en högre koncentration av ammoniak med hänsyn till att de inte erhåller samma skydd som personer inomhus i form av fysiska hinder och kan därav anses vara oskyddade.

Resultaten presenterade i avsnitt 5, samt Bilaga A, visar att dödliga koncentrationer aldrig uppnås vid 10 minuters exponering i enlighet med AEGL-3.

Avseende skadliga koncentrationer i enlighet med AEGL-2 för 10–30 minuters exponering uppgår det längsta konsekvensavståndet till cirka 1 200 m i scenario A3. Detta scenario avser utsläpp av ammoniak via systemens säkerhetsventiler och har beräknats pågå i cirka 4,2 minuter. I simuleringen har det dessutom ansatts att båda de slutna ammoniakbärande systemens säkerhetsventiler öppnar samtidigt och ger ett totalt massflöde om 0,6 kg/s (massflödet för en säkerhetsventil *2) vilket ger att totalt cirka 150 kg ammoniak släpps ut i gasfas. Vad som kan utrönas från Figur 6, Figur 8 samt Figur 10 i Bilaga A är att riskområdet med skadliga koncentrationer av ammoniak inte utgår från riskkällans punkt utan har förflyttats. Detta är till följd av att utsläppets varaktighet enbart uppgår till 4,2 minuter och att gasmolnets som bildas förflyttas med vinden i vindriktningen. Således erhålls en missvisande bild av det presenterade konsekvensavståndet i Tabell 5-1, då det bildade gasmolnet med skadliga koncentrationer av ammoniak kontinuerligt förflyttas under och efter utsläppsperioden.

Tittar man i Figur 6, Figur 8 samt Figur 10 så kan det utrönas att de skadliga koncentrationerna inom området endast uppnås under en period om cirka 5 minuter, d.v.s. inte tillräcklig exponering för att de skadliga nivåerna ska uppnås. Ponera att en oskyddad person befinner sig stationär (exempelvis funktionsvarierad person eller barn) mitt i centerlinjen där gasmolnet passerar, så kommer personen ändå inte utsättas för koncentrationer av ammoniak som står linje med AEGL-2 riktvärdet.

I stället för att anta att båda säkerhetsventilerna aktiveras samtidigt och släpps ut med ett massflöde om 0,6 kg/s i stället släpper ut samtlig ammoniak i det ena systemet och i direkt anslutning till detta släpper det andra systemet ut samtlig ammoniak. Det skulle innebära att

utsläppet pågår i 8,4 minuter med ett massflöde om 0,3 kg/s. Detta skulle förvisso ge en längre exponeringstid men där mängden ammoniak per tidsenhet är lägre. Ammoniaken som då släpps ut hinner då spädas ut snabbare med omgivande luft och kommer enligt simuleringar inte heller ge upphov till exponering som föranleder att AEGL-2 uppfylls. Notera att båda dessa ovanstående scenarier är konservativa i grunden då säkerhetsventiler varken förväntas ge kontinuerliga, oavbrutna utsläpp samt att antagandet om att båda systemen utsätts för en och samma händelse som föranleder att säkerhetsventilerna aktiveras utgör ett ytterst "värsta tänkbara" scenario.

Ovanstående resonemang appliceras på scenario A1, A2 och A3.

Avseende scenario B1 och B2 uppnås varken skadliga koncentrationer (AEGL-2) eller dödliga koncentrationer (AEGL-3). Detta till följd av den relativt höga kravställd nödventilationen till följd av mängden ammoniak i det största systemet inom utrymmet (889 m^3/h). För scenario B3 där vindhastighet om 1 m/s och stabilitetsklass F råder erhålls ett riskområde mellan cirka 120 meter och 159 meter för AEGL-2. Utifrån spridningssimuleringarna scenario kan det i Figur 15 urskönjas att koncentrationen överskrids i cirka 30 minuter. Även om det antas att utsläppet enbart sker under en tidsperiod om exempelvis 10 minuter så kommer personer i detta område utsättas för koncentrationer av ammoniak som motsvarar AEGL-2 kriteriet. Om däremot ventilationsmynningen placeras på en höjd om 3,5 meter så uppnås inte AEGL-2 värdet för något av B-scenarierna. Därav kravställs det att ventilationsmynning för utrymmet placeras på en höjd om 3,5 meter i stället för det tilltänkta 3 meter.

Värt att beakta är att resultaten är konservativa i avseende värdering av risken till följd av den metodik som tillämpats genomgående i rapporten. I simuleringsprogrammet mäts koncentrationen vid en höjd om 3 meter. Då ammoniaks gasdensitet är lägren än den omgivande luftens (0,6 kg/m^3 för ammoniak kontra 1,2 kg/m^3 för luft vid 20 °C) så kommer ammoniaken tendera att stiga och slutsatsen av detta är att koncentrationen ammoniak vid marknivå där personer vistas kan förväntas vara lägre.

Bedömningen för personers säkerhet så anses risken acceptabel med en placering av säkerhetsventiler på en höjd om 5 meter samt i det fall att ventilationsmynning placeras på en höjd om 3,5 meter. I beräkningar och simuleringar av scenario A1, A2 och A3 har även risken för brand inom maskinutrymmet tagits höjd för och hur det påverkar skyddsvärden i ishallens närområde.

6.3 Personer inom maskinutrymmet

För personer som vistats inom maskinutrymmet så utsätts de för en annan typ av risker då de befinner sig i direktanslutning till läckageområdet. Olyckor som kan hänföras till kylanläggningar av denna typ sker ofta i samband med att det utförs service- eller underhållsarbete på maskinerna eller utrustning i nära anslutning till ammoniakbärande system (Räddningsverket, 2000).

Då maskinutrymmet ska utföras i enlighet med Svensk Kylnorm så kommer utrymmet utrustas med ett fast installerat gasvarnarsystem. Larmet ska ha tre nivåer, förlarm (vid 5% LFL), driftlarm (vid 10% LFL) och höglarm (vid 20% LFL), vilket medger goda möjligheter för personer som vistats i utrymmet att snabbt utrymma utrymmet innan skadliga nivåer uppnås. Ammoniak har även som presenterat i avsnitt 4.2 en tydlig skarp, stickande lukt och ger en tidig indikation om att någon form av läckage har skett.

Förutsatt att:

- maskinutrymmet utförs enligt Svensk Kylnorm,
- att all personal som kan komma att vistas inom ishallen är informerade om de risker som ammoniakhantering påför

- samt har givits tydliga instruktioner om vilket agerande som ska tillämpas i händelse av ett larm eller uppmärksammat läckage / utsläpp

Så bedöms risken för dessa personer som acceptabel.

För att ytterligare minska risken för att ett utsläpp ska ske så ska det finnas tydliga rutiner avseende underhåll och service för den ammoniakbärande utrustningen.

7 Slutsats

Denna riskutredning syftar till att utreda de risker som tillkommer ishallen och intilliggande närområde till följd av de ammoniakbärande systemen som ska finnas i ishallens maskinutrymme. I det fall utredningen påvisade att et föreligger risker så skulle erforderliga skyddsåtgärder presenteras för att risken ska anses som hanterad.

Riskkällan som ha utretts är således ammoniaken som ska finnas i ishallens maskinutrymme och i dagsläget är omfattningen på två slutna system om 75 kg ammoniak per system, d.v.s. sammanlagt 150 kg ammoniak i utrymmet. Det skyddskriterium som utredningen utgått från är koncentrationsnivåer motsvarande 10–30 minuter exponering av AEGL-2 gränsvärdet (allvarliga effekter och bestående skador) samt 10 minuters exponering av AEGL-3 gränsvärdet (effekter med dödlig utgång). För att erhålla förväntade koncentrationer av utsläpp från aktuell ishall har massflödesberäkningar som utgår från Processriskanalys och Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis nyttjats för att sedan simuleras i spridningsprogrammet ALOHA och på så sätt erhålla avstånd inom vilka skyddskriterium som ovan presenterat överskrids.

Sammanlagt identifierades två händelser som leder till att ammoniak släpps ut till omgivningen, vilka simulerades för tre variationer av naturliga förhållanden vardera. Simuleringarna påvisade att AEGL-3 gränsvärdet inte överskrids för något av scenarierna och risken för att personer ska omkomma till följd av ett ammoniakutsläpp är således eliminerad, inom den omfattning som presenteras i avsnitt 1.3.

Koncentrationsnivåer som överskrider skyddskriteriet i form av AEGL-2 överskreds i fyra av sex scenarier. Tre av dessa fyra scenarier, som utgjordes av utsläpp av ammoniak via säkerhetsventiler, gav upphov till långa skyddsavstånd som dock bedöms vara acceptabla till följd av den begränsade varaktigheten för utsläppet samt den tid som personer kan exponeras för gasmolnet av ammoniak.

För det fjärde sceneriet som gav upphov till koncentrationsnivåer som överskred skyddskriteriet var till följd av ett utsläpp av ammoniak via maskinutrymmets nödventilation. Varaktigheten för detta utsläpp kan förväntas pågå i den mån att personer som exponeras för detta erhåller bestående skador, om än att den berörda platsen ligger på ett avstånd över 10 meter bort från riskkällan. Denna beräkning utgick från en ventilationsmynningshöjd om 3 meter. För att denna risk ska anses som acceptabel ska ventilationsmynningen för nödventilation placeras på en höjd om lägst 3,5 meter ovan mark, då detta i kompletterande simulering påvisade att skadliga koncentrationsnivåer då aldrig uppnås givet de förutsättningar som presenterats löpande i rapporten.

Det förekommer en risk att personer som befinner sig maskinutrymmet när ett utsläpp sker kan utsättas för höga koncentrationer av ammoniak. Givet att maskinutrymmet utförs i enlighet med Svensk Kylnorm, i denna aspekt ammoniaklarmet, så medges dessa personer en god möjlighet att tidigt bli medvetna om att ett läckage har skett och förväntas hinna sätta sig i säkerhet innan skadliga koncentrationer uppnås.

Utifrån utredningen så utgör ammoniaken i ishallen en acceptabel risk så länge följande uppfylls:

- Säkerhetsventiler på en höjd om lägst 5 meter ovan mark

- Nödventilationsmynning på en höjd om lägst 3,5 meter ovan mark, med en nödventilation om lägst 889 m^3/h. Nödventilationen ska vara kopplat till ammoniaklarmet i maskinutrymmet
- Utformning av maskinutrymmet i enlighet med Svensk Kylnorm
- Presenterade förutsättningar efterföljs
- Tydliga rutiner för underhåll och servicearbeten, inklusive dörrar i fasad
- Maskinutrymmet brandtekniskt avskiljs från övriga utrymmen för att minska risken för brandspridning och spridning av giftig gas till och från intilliggande utrymmen.

Det rekommenderas även att räddningstjänsten konsulteras avseende behov av insatskort, med hänsyn till de risker som ammoniak kan innebära vid räddningstjänstinsats.

Upprättad av:	Granskad av:
James Lundström	Mattias Ödén
Brandingenjör och Civ.ing. Riskhantering	Brandingenjör och Civ.ing. Riskhantering
Säkerhetspartner Norden AB	Säkerhetspartner Norden AB

8 Referenser

Almgren, R. (2007). *Räddningstjänst vid olycka med gaser .* Karlstad: Räddningsverket.

Boverket. (den 30 Juni 2021). *Riskbedömning i praktiken.* Hämtat från https: / / www.boverket.se / sv / byggande / forebygg-fel-brister-skador / riskbedomning / riskbedomning-i-praktiken /

Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2000). *Guidlines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (2a upplagan).* New York: Wiley Interscience.

Davidsson, G. (2003). *Handbok för riskanalys.* Karlstad: Statens räddningsverk.

EPA. (den 14 Maj 2024). *Acute Exposure Guideline Levels.* Hämtat från Ammonia Results - AEGL Program: https: / / www.epa.gov / aegl / ammonia-results-aegl-program

FOA. (1998). *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor.* Umeå: Försvarets forskningsanstalt.

Karlsson, H. (2012). *Processriskanalys.* Lund: Lunds Univeristet, Lunds Tekniska Högskola.

Lundström, J., & Valenzuela Lundkvist, F. (2023). *Probitfunktioner - En studie av tillämpning i Sverige och Effekter av förändrade probitkonstanter.* Lund: Avdelningen för Riskhantering och samhällssäkerhet.

Länsstyrelsen Skåne. (2023). *Vägledning - Kylanläggningar med ammoniak.* Länsstyrelsen Skåne.

MSB. (2024). *Risker med farliga ämnen.* Karlstad: MSB.

Räddningsverket. (2000). *Väglednign för riskbedöming av kyl- och frysanläggnignar med ammoniak.* Karlstad: Räddnignsverket.

Svenska kyl & värmepumpförordningen. (2018). *Svensk kylnorm: Aggregat med brandfarliga köldmedier.* Stockholm: Svenska kyl & värmepumpföreningen.

Bilaga A – Konsekvensberäkningar

I denna bilaga presenteras konsekvensberäkningar / underlag till spridningsberäkningar i form av de scenarier som presenterats i avsnitt 4.3. I följande bilaga presenteras och redovisas beräkningar samt antaganden för källstyrkan för respektive scenario, d.v.s. utsläpp via säkerhetsventil (Scenario A) och utsläpp via ventilationen (Scenario B).

Dessa källstyrkor nyttjas sedan i simuleringsverktyget ALOHA för att erhålla konsekvensavstånd utifrån de gränsvärden som presenterats i avsnitt 4.2. Resultat av spridningssimuleringar samt de indataparametrar som nyttjats i ALOHA presenteras i Bilaga B.

Detta för att möjliggöra att beräkningsgången ska kunna replikeras och verifieras att ge samma resultat, samt för att öka transparensen i utredningen.

Beräkningsgång utsläpp via säkerhetsventil

I händelse av att ammoniakbärande system utsätts för en extern faktor som leder till att trycket i systemet ökar och således aktiverar säkerhetsventilen / ventilerna så kommer detta leda till att gas strömmar ut genom utloppsrör upp till utloppsmynningen och sedan strömmar ut till omgivningen. För att beräkna massflödet för denna utströmning så har metodiken som presenteras i Guidelines for Chemical Process Risk Analysis nyttjats (Center for Chemical Process Safety (CCPS), 2000). Beräkningsgången och resultat för respektive delmoment presenteras löpande nedan.

Inledningsvis beräknas trycket vid säkerhetsventilen enlig ekvationen nedan, värde för k hämtat från tabell 2.6 i Guidelines for Chemical Process Pisk Analysis:

$$\frac{P_{Choked}}{P_1} = (\frac{2}{k+1})^{\frac{k}{k-1}} => P_{choked} = 0{,}542 * P_1 = 13{,}6\ bar$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet
P_{Choked}	Trycket vid säkerhetsventilen, s.k. choke pressure	13,6	[bar]
P_1	Tryck i systemet, högtryckssida	25	[bar]
k	Värmekapacitetskvoten, Poissons kvot specifik för ammoniak.	1,32	[-]

Den kritiska strömningen uppstår då trycket vid ventilen överstiger atmosfärstrycket.

Säkerhetsventilens öppning antas till att vara cirka 1 cm i diameter, vilket enligt följande ekvation ger en öppningsarea om $7{,}9*10^{-5}$ m^2.

$$A = \pi * r^2$$

Massflödet av ammoniak ut genom säkerhetsventilen beräknas enligt följande ekvation:

$$\dot{m}_{choked} = C_D * A * P_1 \sqrt{\frac{kM}{R_g T_1} * \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{(k+1)}{(k-1)}}} = 0{,}296\ kg/s$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet
$\dot{m}_{choked}$	Flödeshastigheten för ammoniak genom säkerhetsventil	0,296	[$kg*s^{-1}$]

CD	Gasstrålens kontraktionsfaktor	0,85	[-]
M	Ammoniaks molmassa	17	[kg*kmol^{-1}]
R_g	Allmänna gaskonstanten	8314	[J*K^{-1}*kmol^{-1}]
T_1	Temperaturen av ammoniak i systemet	293	K

Detta ger ett utsläpp om 0,296 kg/s från utloppsmynningen. Detta förutsätts ske tills hela systemet med 75 kg är tömt. Detta är ett konservativt antagande, då källstyrkan kan förväntas avta varefter ammoniaken töms. Detta förväntas ske under en tidshorisont på cirka 4,2 minuter. Med hänsyn till att båda de slutna ammoniakbärande systemen är placerade inom ett och samma utrymme och därmed kan utsättas för en och samma externa faktor (exempelvis en brand) så kan det ske en tryckuppbyggnad i båda systemen samtidigt, vilket teoretiskt skulle kunna leda till att samtlig ammoniak släpps ut (150 kg).

I simuleringen hanteras detta genom att massflödet för ett system multipliceras med en faktor 2, d.v.s. erhålls ett massflöde om 0,6 kg/s.

Beräkningsgång utsläpp via ventilation

I händelse av att ett invändigt utsläpp av ammoniak sker där 75 kg ammoniak finns i systemet totalt, antas det att samtlig mängd ammoniak läcker ut momentant till följd av någon form av extern påverkan på systemet eller utrustningshaveri. Läckaget sker i systemet som innehåller ammoniaks nedre del vilket leder till att det initiala utsläppet sker i vätskefas.

Maskinutrymmet ska vara utfört tätt och ammoniakens enda möjlighet att spridas i luften är via anläggningens nödventilation som antas starta cirka 5 minuter efter att utsläppet skett och då börjar ventilera ut ammoniakgaser till omgivningen.

Beräkningarna av källstyrka för ett invändigt utsläpp är genomförda i enlighet med Processriskanalys (Karlsson, 2012) och presenteras löpande nedan:

Först beräknas andelen av kvarvarande vätska som momentant inte flashar till gas genom följande ekvation:

$$\frac{m}{m_0} = e^{-(\frac{C_{P,m}}{\lambda})(T_0 - T_b)} => m = 0{,}83 * m_0 = 62{,}5$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet
m_0	Utsläppt mängd vätska	75	[kg]
m	Kvarvarande mängd vätska	-	[kg]
$C_{P,m}$	Ammoniakens värmekapacitet i vätskefas	80,5	[J*mol^{-}1*K^{-1}]
λ	Förbränningsvärmet för ammoniak	23 350	[J*mol^{-1}]
T_0	Ursprungstemperaturen av ammoniak	293	[K]

T_b	Ammoniaks kokpunkt	240	[K]

Andel av ammoniak som direkt flashar till gasfas beräknas enligt nedanstående ekvation:

$$F = 1 - \frac{m}{m_0} = 0{,}167$$

Molnet med ammoniak kommer inledningsvis främst bestå av aerosoler, vilket tas i beaktning genom att andelen som flashar till gas justeras enligt nedanstående ekvation:

$$F_{Justerad} = \frac{F}{1 - \xi} = 0{,}33$$

Där ξ ansätts till 0,5 med hänsyn till att F ligger i intervallet 0,05 < F < 0,5 (Karlsson, 2012).

Ovanstående justerade andel innebär att det bildas ett momentant moln ammoniak vid utsläppet medan en viss mängd kommer bilda en pöl på golvet som förångas i olika faser. Mängden ammoniak i moln samt vätska i pöl på golv presenteras nedan för respektive scenario.

Scenario	Mängd ammoniak i moln [kg]	Mängd ammoniak i pöl [kg]
A1, A2, A3	25	50

För att beräkna pölens storlek nyttjas följande ekvation. Underlaget i utrymmet bedöms vara slätt och pölen antas utifrån detta, med belägg från avsnitt 7.2 i *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker* där $h_{pöl}$ generellt ansätts till 5 mm vid släta underlag (FOA, 1998).

$$A_{pöl} = \frac{V_{pöl}}{h_{pöl}} = \frac{\frac{m}{\rho}}{h_{pöl}}$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet
$A_{pöl}$	Pölens area	13,7	[m^2]
$V_{pöl}$	Pölens volym	-	[m^3]
$h_{pöl}$	Pölens höjd	0,5	[cm]
m	Mängd ammoniak i vätskefas i pöl	50	[kg]
ρ	Densitet ammoniak i vätskefas	730	[kg*m^{-3}]

Förångning i fas 1 antas pågå i en minut och beräknas genom nedanstående ekvation:

$$W_1 = k_1 * \frac{(T_m - T_b)^2}{\lambda}$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet

W_1	Avdriven mängd per yta i fas 1	$6{,}42*10^{-2}$	[kg*m^{-2}]
K_1	Konstant för underlag (cement antaget)	31,38	[J*m^{-2}*K^{-2}]
T_m	Markens temperatur	293	[K]

Detta innebär att den avdrivna mängden under förångningsfasen är:

Scenario	Mängd ammoniak avdriven i förångningsfas 1 [kg]
A1, A2, A3	$6{,}42*10^{-2}*13{,}7=0{,}88$

Förångning i fas 2 antas även denna pågå i cirka en minut, och sker direkt i anslutning till att förångningsfas 1 slutar. Förångningen i fas 2 beräknas enligt ekvationen nedan:

$$N_{A2} = \frac{W_1}{2}(t_1 * t_2)^{-\frac{1}{2}}$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet
N_{A2}	Avdriven mängd per yta i fas 2	$3{,}21*10^{-2}$	[kg*m^{-2}]
t_1	Tid för fas 1	1	[min]
t_2	Tid för fas 2	1	[min]

Ovanstående beräkning ger en total avdriven mängd ammoniakgas under förångningsfas 2 enligt nedanstående tabell:

Scenario	Mängd ammoniak avdriven i förångningsfas 2 [kg]
A1, A2, A3	$3{,}21*10^{-2}*13{,}7=0{,}44$

Förångning i fas 3 antas pågå i 3 minuter, och följer i direkt anslutning till att förångningsfas 2 avslutats. Förångningsfas 3 beräknas enligt ekvationen nedan:

$$N_{A3} = k_3 \frac{T_m - T_b}{\lambda} * t_3$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet
N_{A3}	Avdriven mängd per yta i fas 3	$7{,}27*10^{-2}$	[kg*m^{-2}]
t_3	Tid för fas 3	3	[min]
k_3	Konstant för underlag (cement antaget)	627,6	[J*m^{-2}*K^{-2}*min^{-1}]

Ovanstående beräkning ger en total avdriven mängd ammoniakgas under förångningsfas 3 enligt nedanstående tabell:

Scenario	Mängd ammoniak avdriven i förångningsfas 3 [kg]

A1, A2, A3	$7{,}27*10^{-2}*13{,}7=1{,}0$

Den totala mängden avgiven ammoniak i gasfas är således summan av mängderna i de ovan presenterade stegen, d.v.s. den mängd som momentant bildar ett ammoniakmoln samt de avdrivna mängderna i förångningsfas 1, 2 och 3. Den totala mängden ammoniak uppgår således till nedanstående:

Scenario	Momentant avdriven mängd [kg]	Förångningsfas 1 [kg]	Förångningsfas 2 [kg]	Förångningsfas 3 [kg]	Summa avdriven mängd [kg]
A1, A2, A3	25	0,88	0,44	1,00	27,4

Koncentrationen i rummet har beräknats utifrån ett antal antaganden, dels om gasen och aerosolernas utspridning inom utrymmet. Maskinutrymmets dimensioner uppgår till 140 m^2 golvarea och en höjd på 3 meter. Ammoniaken antas vara homogent fördelad i utrymmet. Koncentrationen ammoniak i utrymmet beräknas enligt nedanstående ekvation:

$$konc = \frac{m_{ammoniak.gas}}{V_{utrymme}}$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet
$m_{ammoniak.gas}$	Total mängd ammoniak i gasform	27,4	[kg]
$V_{utrymme}$	Utrymmets volym	420	[m^3]

Vilket ger koncentrationer på:

Scenario	Koncentration ammoniak i utrymmet [$kg*m^{-3}$]	Enhet
A1, A2, A3	27,4 / 420= 0,065	[$kg*m^{-3}$]

Nödventilationen beräknas utifrån de riktlinjer som presenteras i *Svensk Kylnorm*, ekvation återgiven nedan (Svenska kyl & värmepumpförordningen, 2018):

$$V = 50\sqrt[3]{G^2}$$

Beteckning	Förklaring	Värde	Enhet
V	Lutflöde	889,2	[m^3*h^{-1}]
G	Mängden köldmedium i största systemet	75	[kg]

Begränsningen på nödventilationen får som mest uppgå till 15 luftomsättningar per timme, och beräknas enligt nedan:

$$Luftomsättning = \frac{V}{V_{utrymme}}$$

Detta ger nedanstående, vilket ger ett luftflöde som understiger 15 omsättningar:

Scenario	Luftomsättningar
A1, A2, A3	2,12

Detta genererar en källstyrka enligt ekvationen och tabellen nedan:

$$\dot{m}_{ammoniak} = konc_{ammoniak} * V$$

Scenario	Massflöde	Enhet
A1, A2, A3	0,0161	[kg*s^{-1}]

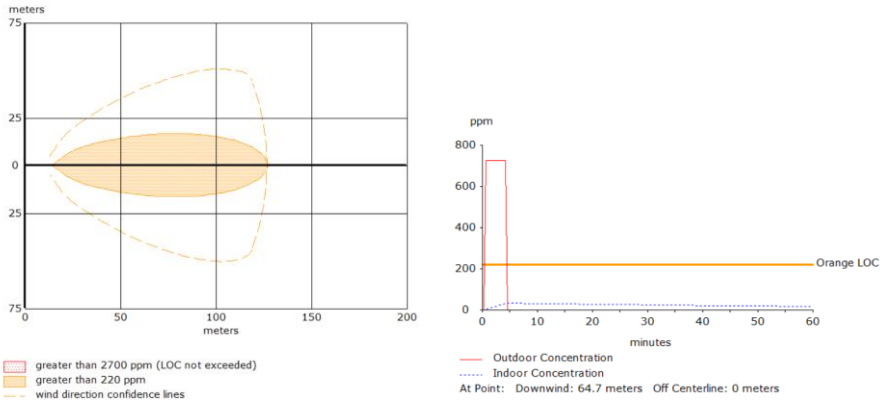
Utsläppet enligt ovan antas pågå med konstant källstyrka i 30 minuter för ett erhålla en konservativ skattning. Detta renderar i att sammanlagt 29 kg ammoniak släpps ut i gasfas.

Scenariernas spridningssimuleringar

A1-

```
SITE DATA:
  Location: LERUM KOMMUN, SWEDEN
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.73 (unsheltered single storied)
  Time: March 26, 2025  1108 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: AMMONIA
  CAS Number: 7664-41-7                  Molecular Weight: 17.03 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 30 ppm   AEGL-2 (60 min): 160 ppm   AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
  IDLH: 300 ppm      LEL: 150000 ppm     UEL: 280000 ppm
  Ambient Boiling Point: -33.5° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 3.5 meters/second from W at 3 meters
  Ground Roughness: open country         Cloud Cover: 5 tenths
  Air Temperature: 20° C
  Stability Class: B (user override)
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 0.6 kilograms/sec       Source Height: 5 meters
  Release Duration: 4.2 minutes
  Release Rate: 36 kilograms/min
  Total Amount Released: 151 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
     Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
  Model Run: Gaussian
  Red   : LOC is not exceeded --- (2700 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because
     the ground level concentrations never exceed the LOC.
  Orange: 127 meters --- (220 ppm)
```

Figur 5. Indataparametrar som nyttjats för scenario A1 samt spridningsresultatet i textformat.

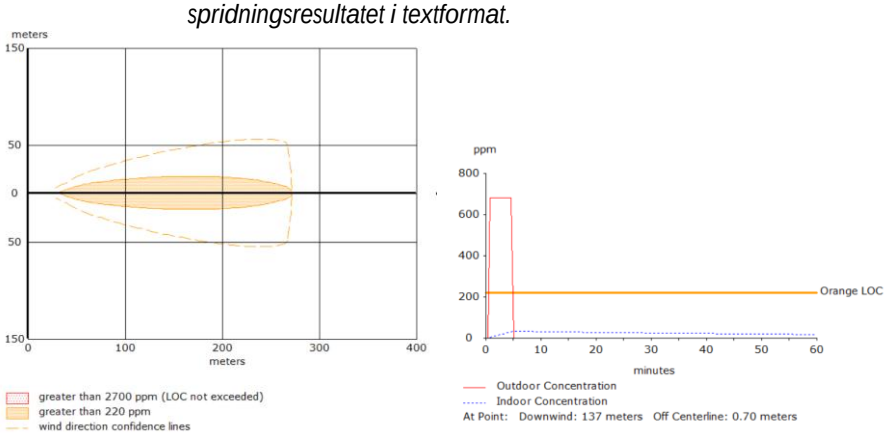


Figur 6. ALOHA:s spridningsresultat utifrån indataparametrar presenterade i föregående figur. Till höger synes hur lång tid personer i en specifik punkt i riskområdet exponeras för denna koncentration av ammoniak.

A2-

```
SITE DATA:
  Location: LERUM KOMMUN, SWEDEN
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.73 (unsheltered single storied)
  Time: March 26, 2025  1115 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: AMMONIA
  CAS Number: 7664-41-7                  Molecular Weight: 17.03 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 30 ppm   AEGL-2 (60 min): 160 ppm   AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
  IDLH: 300 ppm      LEL: 150000 ppm     UEL: 280000 ppm
  Ambient Boiling Point: -33.5° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 3.5 meters/second from W at 3 meters
  Ground Roughness: open country         Cloud Cover: 5 tenths
  Air Temperature: 20° C
  Stability Class: D (user override)
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 0.6 kilograms/sec       Source Height: 5 meters
  Release Duration: 4.2 minutes
  Release Rate: 36 kilograms/min
  Total Amount Released: 151 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
     Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
  Model Run: Gaussian
  Red   : LOC is not exceeded --- (2700 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because
     the ground level concentrations never exceed the LOC.
  Orange: 272 meters --- (220 ppm)
```

Figur 7. Indataparametrar som nyttjats för scenario A2 samt spridningsresultatet i textformat.

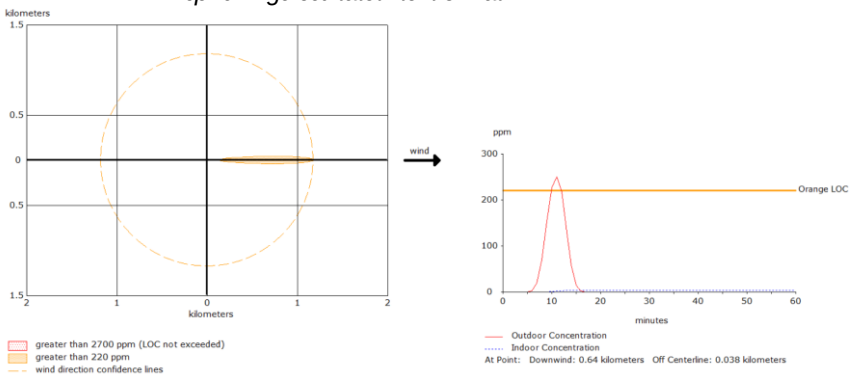


Figur 8. ALOHA:s spridningsresultat utifrån indataparametrar presenterade i föregående figur. Till höger synes hur lång tid personer i en specifik punkt i riskområdet exponeras för denna koncentration av ammoniak.

A3-

```
SITE DATA:
  Location: LERUM KOMMUN, SWEDEN
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.21 (unsheltered single storied)
  Time: March 19, 2025  1555 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: AMMONIA
  CAS Number: 7664-41-7                  Molecular Weight: 17.03 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 30 ppm   AEGL-2 (60 min): 160 ppm   AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
  IDLH: 300 ppm      LEL: 150000 ppm     UEL: 280000 ppm
  Ambient Boiling Point: -33.5° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 1 meters/second from W at 3 meters
  Ground Roughness: open country         Cloud Cover: 5 tenths
  Air Temperature: 20° C
  Stability Class: F (user override)
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 0.6 kilograms/sec       Source Height: 5 meters
  Release Duration: 4.2 minutes
  Release Rate: 36 kilograms/min
  Total Amount Released: 151 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
     Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
  Model Run: Gaussian
  Red   : LOC is not exceeded --- (2700 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because
     the ground level concentrations never exceed the LOC.
  Orange: 1.2 kilometers --- (220 ppm)
```

Figur 9. Indataparametrar som nyttjats för scenario A3 samt spridningsresultatet i textformat.



Figur 10. ALOHA:s spridningsresultat utifrån indataparametrar presenterade i föregående figur. Till höger synes hur lång tid personer i en specifik punkt i riskområdet exponeras för denna koncentration av ammoniak.

B1-

```
SITE DATA:
  Location: LERUM KOMMUN, SWEDEN
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.73 (unsheltered single storied)
  Time: March 26, 2025  1310 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: AMMONIA
  CAS Number: 7664-41-7                  Molecular Weight: 17.03 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 30 ppm   AEGL-2 (60 min): 160 ppm   AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
  IDLH: 300 ppm      LEL: 150000 ppm     UEL: 280000 ppm
  Ambient Boiling Point: -33.5° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 3.5 meters/second from W at 3 meters
  Ground Roughness: open country         Cloud Cover: 5 tenths
  Air Temperature: 20° C
  Stability Class: B (user override)
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 0.0161 kilograms/sec    Source Height: 3 meters
  Release Duration: 30 minutes
  Release Rate: 966 grams/min
  Total Amount Released: 29.0 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
     Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
  Model Run: Gaussian
  Red   : LOC is not exceeded --- (2700 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because
     the ground level concentrations never exceed the LOC.
  Orange: LOC is not exceeded --- (220 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because
     the ground level concentrations never exceed the LOC.
```

Figur 11. Indataparametrar som nyttjats för scenario B1 samt spridningsresultatet i textformat.

B2-

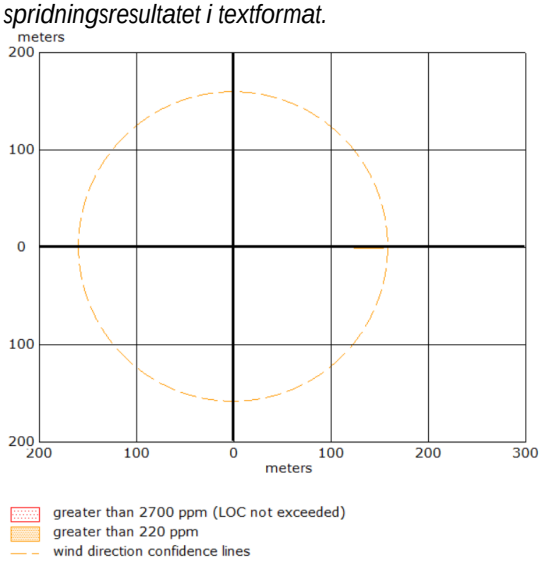
```
SITE DATA:
  Location: LERUM KOMMUN, SWEDEN
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.73 (unsheltered single storied)
  Time: March 26, 2025  1310 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: AMMONIA
  CAS Number: 7664-41-7                  Molecular Weight: 17.03 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 30 ppm   AEGL-2 (60 min): 160 ppm   AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
  IDLH: 300 ppm      LEL: 150000 ppm     UEL: 280000 ppm
  Ambient Boiling Point: -33.5° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 3.5 meters/second from W at 3 meters
  Ground Roughness: open country         Cloud Cover: 5 tenths
  Air Temperature: 20° C
  Stability Class: D (user override)
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 0.0161 kilograms/sec    Source Height: 3 meters
  Release Duration: 30 minutes
  Release Rate: 966 grams/min
  Total Amount Released: 29.0 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
     Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
  Model Run: Gaussian
  Red   : LOC is not exceeded --- (2700 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because
     the ground level concentrations never exceed the LOC.
  Orange: LOC is not exceeded --- (220 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because
     the ground level concentrations never exceed the LOC.
```

Figur 12. Indataparametrar som nyttjats för scenario B2 samt spridningsresultatet i textformat.

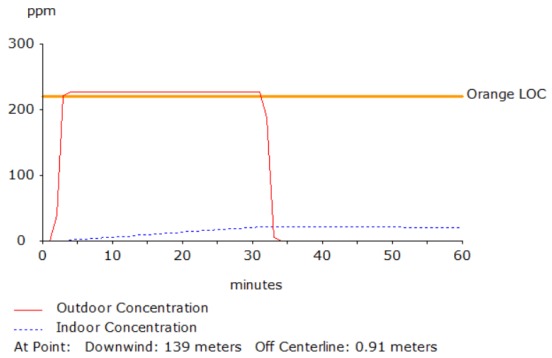
B3-

```
SITE DATA:
  Location: LERUM KOMMUN, SWEDEN
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.21 (unsheltered single storied)
  Time: March 26, 2025  1251 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: AMMONIA
  CAS Number: 7664-41-7                    Molecular Weight: 17.03 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 30 ppm   AEGL-2 (60 min): 160 ppm   AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
  IDLH: 300 ppm      LEL: 150000 ppm      UEL: 280000 ppm
  Ambient Boiling Point: -33.5° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 1 meters/second from W at 3 meters
  Ground Roughness: open country           Cloud Cover: 5 tenths
  Air Temperature: 20° C
  Stability Class: F (user override)
  No Inversion Height                      Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 0.0161 kilograms/sec    Source Height: 3 meters
  Release Duration: 30 minutes
  Release Rate: 966 grams/min
  Total Amount Released: 29.0 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
     Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
  Model Run: Gaussian
  Red   : LOC is not exceeded --- (2700 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because
     the ground level concentrations never exceed the LOC.
  Orange: 159 meters --- (220 ppm)
```

Figur 13. Indataparametrar som nyttjats för scenario B3 samt spridningsresultatet i textformat.



Figur 14. ALOHA:s spridningsresultat utifrån indataparametrar presenterade i föregående figur. Svårtydligt, men det förekommer ett riskområde cirka 120 till 160 meter till höger om origo.



Figur 15. Hur länge personer i en specifik punkt utsätts för skadliga koncentrationer ammoniak, givet en utsläppstid om 30 minuter.

Bilaga B – ALOHA

ALOHA:s spridningsmodell använder sig av två semi-empiriska modeller för att beräkna hur ett utsläpp sprider sig i atmosfären. Den första är en Gaussisk spridningsmodell, särskilt anpassad för utsläpp av lätta gaser, medan den andra är en tunggasmodell som används för gaser med en densitet som överstiger luftens. Efter att spridningen modellerats, beräknas koncentrationen av det farliga ämnet som en funktion av tiden i det geografiska område där utsläppet sker. Det högsta koncentrationsvärdet identifieras genom att lösa ekvationen för maximal koncentration enligt följande: $M(x,y)$ = max $[C(x,y,t)]$ (Lundström & Valenzuela Lundkvist, 2023)

För att bestämma den exakta tidpunkten då koncentrationen är som högst vid en specifik punkt, inleder ALOHA med att identifiera tidpunkten t_m, då utsläppshastigheten u är som störst, vilket ger tidsvärdet t_0. Därefter beräknas koncentrationen vid denna tidpunkt, och tiden t_0 varierar sedan med ±30 sekunder för att jämföra de resulterande koncentrationsvärdena. Om koncentrationen är högre eller lägre vid någon av dessa jämförelsetidpunkter, upprepas processen med samma intervall på 30 sekunder tills maximal koncentration har fastställts med hög precision (Lundström & Valenzuela Lundkvist, 2023).

Denna iterativa metod säkerställer att spridningsförloppet och den maximala koncentrationen beräknas noggrant, vilket är avgörande för en korrekt riskbedömning och beslutsfattande i situationer som involverar farliga utsläpp.

ALOHA:s behandling av ytråhet baseras på ett system där det kan väljas mellan tre förinställda alternativ för att definiera markytans egenskaper, med följande beskrivningar:

Öppet landskap: Detta alternativ representerar låg ytråhet, vilket innebär att den genererade turbulensen också är låg. Som följd tillåts gasmolnet att färdas längre sträckor. Den lägre turbulensen leder till mindre luftinblandning, vilket resulterar i att koncentrationen av gasmolnet förblir högre över en längre distans.

Urban / Skog: Här antas en högre ytråhet, vilket resulterar i ökad turbulens när gasmolnet rör sig över ytor med hög friktion, såsom tätbebyggda ytor eller skogsområden. Den ökade luftinblandningen minskar gasmolnets koncentration. ALOHA tar dock inte hänsyn till höga byggnader och antas i programmet betrakta gasmolnet som glidande kring sådana hinder.

Öppet vatten: Detta alternativ genererar den lägsta ytråheten eftersom vattenytor inte bidrar till någon betydande turbulens. Därmed sker minimal luftinblandning, vilket påverkar spridningen av gasmolnet.

Genom dessa inställningar tar ALOHA hänsyn till hur olika ytor påverkar turbulens och spridningsförloppet, vilket i sin tur påverkar koncentrationen och utbredningen av ett gasutsläpp (Lundström & Valenzuela Lundkvist, 2023).

Bilaga C – Pasquills stabilitetsklasser

För att kunna modellera stabiliteten i atmosfären finns enligt Fischer, o.a. (1997) olika tillvägagångsätt. En av de vanligare metoderna är att nyttja de så kallade Pasquill-klasserna, där atmosfärens stabilitet delas in i 6 klasser rankade från A till F utifrån turbulensnivå. Se tabell nedan för presentation av stabilitetsklasserna:

Tabell Bilaga C-1. Pasquillklasserna 1

Stabilitetsklass	Benämning
A	Extremt instabil
B	Måttligt stabil
C	Svagt instabil
D	Neutral
E	Svagt stabil
F	Måttligt till extrem stabil