

VTT Technical Research Centre of Finland

## Räjähdekohteiden kvantitatiivinen riskianalyysi ja sen hyödyntäminen päätöksenteossa

Karanta, Ilkka; Helminen, Atte; Nissilä, Minna; Rossi, Jukka; Tyrväinen, Tero; Välisalo, Tero

Published: 03/02/2021

*Document Version*  
Publisher's final version

[Link to publication](#)

*Please cite the original version:*

Karanta, I., Helminen, A., Nissilä, M., Rossi, J., Tyrväinen, T., & Välisalo, T. (2021). *Räjähdekohteiden kvantitatiivinen riskianalyysi ja sen hyödyntäminen päätöksenteossa*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti No. VTT-R-00119-21



VTT  
<http://www.vtt.fi>  
P.O. box 1000FI-02044 VTT  
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



Kuva: Macquarie Australia. Creative Commons-lisenssi.

# Räjähdekohteiden kvantitatiivinen riskianalyysi ja sen hyödyntäminen päätöksenteossa

Kirjoittajat: Ilkka Karanta, Atte Helminen, Minna Nissilä, Jukka Rossi, Tero Tyrväinen, Tero Välisalo

Luottamuksellisuus: julkinen

<b>Raportin nimi</b>		
Räjähdekohteiden kvantitatiivinen riskianalyysi ja sen hyödyntäminen päätöksenteossa		
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b>		<b>Asiakkaan viite</b>
Puolustusministeriö Seija Miettinen-Bellevergue PL 31, 00131 Helsinki		VN/7208/2020-PLM-11
<b>Projektin nimi</b>		<b>Projektin numero/lyhytnimi</b>
Kvantitatiivisen riskienarvioinnin hyödyntäminen siviili- ja sotilaspuolen räjähdekohteisiin liittyvässä päätöksenteossa		127580/Kvanti-R
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämä raportti on perusselvitys räjähdekohteiden kvantitatiivisesta riskianalyysistä (quantitative risk analysis, QRA). Raportin tarkoitus on osaltaan tarjota tietoa ja näkökohtia QRA:n käyttöönottoa Suomessa koskevalle keskustelulle sekä valmistelu- ja kehitystyölle. Raportin koostamisessa käytettyjä menetelmiä ovat olleet kirjallisuus- ja säädöskatsaukset, lähinnä sähköpostitse tapahtuneet asiantuntijahaastattelut, sekä alan suomalaisten asiantuntijoiden näkemysten kirjaaminen.</p> <p>Norjassa, Ruotsissa ja Sveitsissä QRA:ta käytetään laajasti räjähdekohteiden luvanhaussa. Ruotsissa ja Norjassa on sotilaspuolella käytössä sama hyväksytty menetelmä. Itävallassa räjähdekohteiden turvallisuusanalyysi perustuu suojaetäisyyksiin. Lähemmin tarkastellaan kuutta QRA-menetelmää. Menetelmissä on eroja esimerkiksi sen suhteen, minkätyyppisiä rakennuksia tai rakenteita pystytään tarkastelemaan, sekä sen suhteen kuinka tarkoilla menetelmillä räjähdysliittyviä fysikaalisia ilmiöitä analysoidaan. Siviili- ja sotilaspuolella laskeaan samoja riskimittoja - yksilö- ja ryhmäriskiä - ja tarkasteltavat räjähdysten vaikutukset ovat samoja; erot liittyvät tarkasteltuihin räjähteisiin, niihin liittyvään toimintaan, tarkasteltaviin kohteisiin (esim. varastotyyppit) ja alueisiin.</p> <p>Ruotsin ja Norjan lainsäädäntöä on tarkasteltu hyväksyttävään riskitasoon ja sen määrittelyyn liittyen. Hyväksyttävän riskitason asettavat molemmissa maissa viranomaiset. Hyväksyttävä riskitaso asetetaan yksilöriskille Norjassa sillä perusteella, että kohteen aiheuttamat riskit kasvattavat muista onnettomuuksista johtuvaa kuolemisriskiä vain vähän, ja yhteiskunnallista riskiä tarkasteltaessa otetaan kuolemisriskin lisäksi huomioon myös räjähdekohteen tuottama hyöty. Ruotsissa sekä yksilöriskin että ryhmäriskin tasojen määrittämisessä käytetään muilla keinoin turvallisiksi todetun kohteen tuottamaa riskitasoa.</p> <p>QRA-menetelmiä on kelpoistettu eri puolilla eri tavoin, mutta järjestelmällistä ja kattavaa kelpoistusmenettelyä ei ilmeisesti ole otettu käyttöön missään päin maailmaa.</p> <p>Ydinvoimateollisuudessa ovat pitkän kehitystyön tuloksena kvantitatiiviset riskianalyysimenetelmät, lainsäädäntö ja menetelmien kelpoistaminen saavuttaneet asteen, jossa niistä on otettavissa elementtejä räjähd-QRA-analyysien tekemiseen, hyödyntämiseen ja alan lainsäädäntöön liittyen.</p>		
Espoo 3.2.2021		
<b>Laatija</b>	<b>Tarkastaja</b>	<b>Hyväksyjä</b>
Ilkka Karanta erikoistutkija	Timo Malm erikoistutkija	Göran Granholm manager operations support
<b>VTT:n yhteystiedot</b>		
PI 1000, 02044 VTT		
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b>		
Puolustusministeriö, Kvanti-R-ohjausryhmä, VTT		
<p><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

## Alkusanat

---

Tämä raportti on Kvanti-R-projektin tulosraportti. Projektin tarkoituksena on ollut laatia perusselvitys koskien kvantitatiivisten riskienarviointimenetelmien hyödyntämistä siviili- ja sotilaspuolen räjähdekohteisiin liittyvässä päätöksenteossa, ja sitä kannattaisiko vastaavia menetelmiä ottaa käyttöön myös Suomessa. Projekti on toteutettu kesällä ja syksyllä 2020.

Projektin toteuttamiseen ovat VTT:ltä osallistuneet Atte Helminen, Ilkka Karanta (projektipäällikkö), Minna Nissilä, Jukka Rossi, Tero Tyrväinen ja Tero Välisalo. Lisäksi Aalto-yliopisto on osallistunut ohjausryhmän toimintaan ja toteuttanut työpajan sekä siihen liittyneen verkkokyselyn; tämän työn suorittivat professori Ahti Salo ja tutkija Juho Roponen Systeemianalyysin laboratoriosta.

Projektin ohjausryhmään ovat kuuluneet seuraavat henkilöt: Seija Miettinen-Bellevergue (PLM, puheenjohtaja), Göran Granholm (VTT), Olli Harju (NAMMO Lapua Oy), Jari Henriksson (Forcit Oy), Jari Hämäläinen (VTT), Sanna-Mari Karjalainen (Työ- ja elinkeinoministeriö, lokakuuhun 2020 asti), Katariina Kuhanen (Puolustusministeriö, elokuusta 2020 lähtien), Jukka Kurikka (Puolustusvoimat), Kosti Nevala (Puolustusvoimat), Ahti Salo (Aalto-yliopisto), Jari Talja (Puolustusministeriö), Timo Talvitie (TUKES), Kati Vuorenvirta (Puolustusministeriö). Projektiryhmä kiittää ohjausryhmän jäseniä monipuolisesta tuesta.

Tämän tulosraportin luonnosta ovat kommentoineet Jukka Kurikka ja Kosti Nevala sekä Olli Harju, ja Kurikka sekä Nevala ovat myös opastaneet alan suomenkielisen erikoissanaston suhteen, mistä projektiryhmä lausuu heille lämpimät kiitokset. Projektiryhmä on saanut ohjausryhmältä sekä OHRYn kokouksissa että sähköpostitse neuvoja, vihjeitä ja lähdemateriaalia. Erityiskiitos sähköpostitse tulleista vihjeistä ja lähdemateriaaleista kuuluu Timo Talvitiele ja Jari Henrikssonille. Projektiryhmä kiittää myös haastateltuja asiantuntijoita heidän panoksestaan projektin hyväksi.

Espoossa 3.2.2021

Tekijät

## Sisällysluettelo

---

Alkusanat .....	2
Sisällysluettelo .....	3
1 Johdanto .....	5
2 Menetelmät ja toteutus .....	5
2.1 Raportissa käytettyä suomenkielistä erikoissanastoa .....	6
3 Räjähdekohteiden kvantitatiiviset riskiarviointimenetelmät .....	6
3.1 Maakohtainen tilanne verrokkimaissa .....	7
3.2 Menetelmien kuvaukset .....	10
3.2.1 Räjähderiskianalyysi yleisellä tasolla .....	10
3.2.2 Institute of Makers of Explosives Safety Analysis for Risk (IMESA FR) .....	11
3.2.3 The Safety Assessment for Explosives Risk (SAFER) .....	15
3.2.4 AMRISK .....	15
3.2.5 LambdaT .....	19
3.2.6 Explosive Quantitative Risk Analysis (EQRA) .....	20
3.2.7 Puolustusvoimien menetelmä .....	21
3.3 Menetelmien vertailu .....	22
3.3.1 Siviilipuolen menetelmien vertailu sotilaspuolen menetelmiin .....	22
3.3.2 Menetelmien yhteensopivuus NATO-standardi AASTP-4:n kuvaaman menettelyn kanssa .....	22
4 Räjähdekohteiden kvantitatiiviset riskitasot ja riskitasoihin liittyvä lainsäädäntö .....	24
4.1 Norjan siviiliräjähdekohteisiin liittyvät säädökset .....	24
4.1.1 Palo- ja räjähdysuojalaki, Brann- og eksplosjonsvernloven .....	25
4.1.2 Suunnittelu- ja rakennuslaki, Plan- og bygningsloven .....	25
4.1.3 Suuronnettomuusasetus, Storulykkeforskriften .....	25
4.1.4 Siviiliräjähteiden käsittelyä koskeva asetus, Eksplosivforskriften .....	26
4.1.5 DSB:n opas räjähteiden käsittelystä .....	26
4.2 Norjan sotilasräjähdekohteisiin liittyvät säädökset .....	29
4.2.1 Hyväksyttävän riskitason määrittäminen Norjassa .....	32
4.3 Ruotsin siviiliräjähdekohteisiin liittyvät säädökset .....	33
4.3.1 Laki palovaarallisista ja räjähtävistä tuotteista, Lag om brandfarliga och explosiva varor (2010:1011) .....	33
4.3.2 Asetus palovaarallisista ja räjähtävistä tuotteista, Förordning om brandfarliga och explosiva varor (2010:1075) .....	34
4.3.3 Laki vakavien kemikaalionnettomuuksien estämisestä ja seurausten rajoittamisesta, Lag om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor (1999:381) .....	34

4.3.4	MSB määräykset räjähteiden käsittelystä, Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om hantering av explosiva varor (den 8 april 2019) .....	35
4.3.5	Käsikirja: Hantering av explosiva varor .....	36
4.4	Ruotsin sotilasräjähdekohteisiin liittyvät säädökset .....	37
4.4.1	Hyväksyttävän riskitason määrittäminen Ruotsissa .....	37
4.5	Muiden maiden käyttämiä kvantitatiivisia riskitasoja .....	38
4.6	Riskitasot Suomen puolustusvoimissa .....	41
5	Kvantitatiivisen riskienarviointimenetelmän validointivaatimukset .....	42
5.1	Todentamisen ja kelpoistamisen määritelmistä .....	42
5.2	Esimerkkejä räjähdde-QRA-menetelmille tehdystä todentamisesta ja kelpoistamisesta .....	43
5.3	Säteilyturvakeskuksen todentamis- ja kelpoistusvaatimukset .....	44
5.4	Asiantuntijoiden näkemyksiä menetelmien todentamis- ja kelpoistusvaatimuksista .....	45
5.4.1	NATON MSIAC-projektitoimiston näkemykset .....	45
5.4.2	Norjalaisen sotilaspuolen asiantuntijan näkemykset .....	47
6	Suomen teollisuuden kemikaali- ja räjähdekohteiden sekä ydinvoima-alan kvantitatiiviset riskienarviointimenetelmät ja riskitavoitteet .....	51
6.1	Teollisuuden kemikaali- ja räjähdekohteita koskevia säädöksiä .....	51
6.2	Viranomaisohjeet .....	52
6.3	Kemikaali- ja räjähdekohteiden riskienarviointia koskevia vaatimuksia .....	52
6.4	Ydinenergia-alaa koskevia säädöksiä .....	53
6.5	Viranomaisohjeet .....	53
6.6	Todennäköisyysperustainen riskianalyysi .....	54
7	Työpajan tulokset .....	56
7.1	Keskustelu kyselyn vastauksista .....	56
7.2	Keskustelu jatkotoimenpiteistä .....	57
8	Johtopäätökset ja yhteenveto .....	57
9	Summary in English .....	62
10	Liitteet /Lähdeviitteet .....	63
10.1	Liite. Työpajan yhteydessä suoritettu kysely .....	65

## 1 Johdanto

---

Räjähdekohteiden (räjähdevarastot ym.) riittävää turvallisuutta on yli sadan vuoden ajan arvioitu suojaetäisyyksien avulla (Tatom et al. 2011). Nämä ovat yksinkertaisia menetelmiä, joissa arvioidaan onko räjähdetarasto riittävän etäällä erilaisista suojattavista kohteista (sairaalat, koulut, liikenneväylät yms.). Riittävyys lasjetaan kullekin suojattavalle kohteelle erikseen yksinkertaisella kaavalla, jossa voidaan ottaa kohteen ja etäisyyden lisäksi erilaisia asioita, esimerkiksi Valtioneuvoston asetuksessa räjähteiden valmistuksen, käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista (VnA 1101/2015) säädetään huomioitavaksi räjähteen vaarallisuusluokka sekä sirpalevaaran mahdollisuus (ks. myös [TUKESin ohjeet](#)). Suojaetäisyyksien menetelmien etuja ovat yksinkertaisuus ja soveltamisen helppous. Niiden haittoja ovat mm. se että niissä on hankalaa tai mahdotonta ottaa huomioon erilaisia turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä kuten varaston rakenneteknisiä ratkaisuja, sekä se että turvamarginaalit on varmuuden vuoksi asetettava riittävän suuriksi. Suuret turvamarginaalit heikentävät menetelmän soveltuvuutta räjähdekohteiden turvallisuuden arvioinnissa etenkin turvallisiksi suunniteltujen mutta lähellä joitain suojattavia kohteita sijaitsevien räjähdekohteiden luvituksessa. Suojaetäisyyksien laskenta ei myöskään anna tietoa räjähdekohteen aiheuttamista henkilöturvallisuusriskeistä.

Viimeisten vuosikymmenien aikana onkin monissa maissa ryhdytty käyttämään räjähdekohteille kehitettyjä kvantitatiivisia riskianalyysimenetelmiä. Kvantitatiivisia riskianalyysimenetelmiä käytetään riittävän turvallisuuden todentamisessa usein erityisesti silloin, kun suojaetäisyydet eivät täyty mutta on jotain muuta syytä olettaa räjähdekohteiden riittävän turvalliseksi.

Puolustusministeriö (PLM) antoi toukokuussa 2020 VTT:lle ja Aalto-yliopistolle (Aalto) toimeksi yhteistyössä selvittää kvantitatiivisten riskienarvointimenetelmien hyödyntämistä siviili- ja sotilaspuolen räjähdekohteisiin liittyvässä päätöksenteossa, ja sitä kannattaisiko vastaavia menetelmiä ottaa käyttöön myös Suomessa.

Selvityksen tuloksia hyödynnetään kansallisen keskustelun ja päätöksenteon tukena. Tuloksia voidaan hyödyntää myös kehitettäessä kansallisia räjähd- ja kemikaalivarastoinnin kvantitatiivisia riskienarvointimenetelmiä ja teknisen turvallisuuden lainsäädäntöä.

## 2 Menetelmät ja toteutus

---

Selvitys toteutettiin Puolustusministeriön, Puolustusvoimien, TUKESin ja Forcit Oy:n toimittaman aineiston sekä Internet-hakujen tuottaman materiaalin läpikäyntinä ja analysointina, valikoiduille ulkomaisille asiantuntijoille ja organisaatioille lähetettyinä sähköpostikyselyinä, NATO:n MSIAC-projektitoimiston kanssa pidettynä etäkokouksena, sekä etäkokouksen muodossa järjestettynä työpajana.

Projektissa haastateltiin seitsemää ulkomaista räjähderiskiasiantuntijaa. He olivat ruotsalainen sotilaspuolen asiantuntija 1 ja 2 (Totalförsvarets forskningsinstitut FOI, Ruotsi), ruotsalainen siviilipuolen asiantuntija (Kompetenscenter för Energetiska Material KCEM, Ruotsi), sveitsiläinen asiantuntija (Bienz, Kummer und Partner, Sveitsi), NATO/MSIACin asiantuntija (NATO/Munitions Safety Information Analysis Center MSIAC, Belgia), norjalainen sotilaspuolen asiantuntija (Norjan puolustusvoimat), sekä itävaltalainen siviilipuolen asiantuntija (Itävallan aluehallinto).

Projektin ohjausryhmä on tukenut projektin toteuttamista monin tavoin, mm. ehdottamalla ja toimittamalla käsiteltäviä materiaaleja, ehdottamalla haastateltavia ja ideoimalla jatkotoimenpiteitä. Ohjausryhmän jäsenet on lueteltu tämän raportin alkusanoissa.

Työpajan ja sen yhteydessä toteutetun Internet-kyselyn toteutti Aalto-yliopisto. Työpajaan osallistui projektin ohjausryhmän ja projektipäällikön lisäksi Aalto-yliopiston tohtorikoulutettava Juho Roponen sekä kutsuttuina

ulkopuolisina asiantuntijoina Aki Ijäs (TUKES), Harri Hirvonen (NAMMO Lapua Oy) sekä Ari Nieminen ja Jukka K. Koskinen (Puolustusvoimat).

## 2.1 Raportissa käytettyä suomenkielistä erikoissanastoa

Tässä raportissa on pyritty käyttämään räjähdeteriskialan käsitteille suomenkielisiä ilmaisuja, mikäli vakiintuneita ilmaisuja on ollut tiedossa. Alla olevassa taulukossa on lueteltu joitakin keskeisiä termejä.

*Taulukko 1. Raportissa käytettyjä englanninkielisten termien suomennoksia.*

Englanninkielinen termi	Suomenkielinen vastine
acceptor	suojattava kohde
ammunitions storage	räjähdevarasto
collective risk	ryhmäriski
debris	sirpaleet, heitteet
donor	vaarallinen kohde
fragment	sirpale
hazard division	vaarallisuusluokka
individual risk	yksilöriski
group risk	ryhmäriski
license	lupa
licensing	luvanhaku, luvitus
quantified distance, quantity distance	suojaetäisyys
storage compatibility group	yhteensopivuusryhmä
validation	kelpoistaminen
verification	todentaminen
weight	massa

## 3 Räjähdekohteiden kvantitatiiviset riskiarviointimenetelmät

Riskillä tarkoitetaan jonkin haitallisen tai epätoivotun tilanteen mahdollisuutta. Riskianalyysillä pyritään selvittämään jossain tarkastelun kohteessa, millaisia nämä epätoivotut tilanteet ovat, kuinka todennäköisesti niihin päädytään, ja mitkä ovat tilanteen mahdolliset seuraukset. Kun tarkastelu on kvantitatiivista eli todennäköisyydet tai mahdollisuudet sekä seurausten suuruudet ilmaistaan numeroina, puhutaan kvantitatiivisesta riskianalyysistä (quantitative risk analysis, QRA). QRA-menetelmiä voi luonnehtia siten, että ne tuottavat numeerisia tuloksia (lukuarvoja) ja niissä jollain tavalla käsitellään tarkastelun kohteena olevaan järjestelmään oleellisesti liittyvät epävarmuudet. Kaikissa tarkastelluissa räjähdekohteiden QRA-menetelmissä epävarmuudet käsitellään todennäköisyyslaskennan avulla. Kun kvantitatiivisen riskianalyysin laskenta nojaa todennäköisyysteoriaan ja tarkastelun kohteena ovat onnettomuusriskit (kuten räjähdeteriskien analyysissä), voidaan käyttää nimitystä todennäköisyyspohjainen riskianalyysi (probabilistic risk analysis, PRA) tai todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi (probabilistic safety analysis PSA).



QRA-menetelmissä yleisesti voidaan ottaa huomioon useampia riskiin vaikuttavia tekijöitä kuin suojaetäisyyksien laskennassa. Esimerkki tästä on räjähdysuonnettomuuden todennäköisyys, joka vaihtelee räjähdysaiheen, sen käsittelytoimenpiteiden jne. mukaan; suojaetäisyyksien laskennassa räjähdys oletetaan tapahtuneeksi ja lasketaan vain seurauksia. Lisäksi QRA-menetelmien avulla voidaan laskea riskeille yhteenvedonomaista tunnuslukuja (riskimetriikkoja), joita voidaan käyttää riittävän turvallisuuden todentamiseen vertaamalla riittävän hyväksi arvioituun riskitasoon, sekä eri sijoituspaikka- ja suunnitteluvaihtoehtojen vertaamiseen keskenään. Lisäksi etenkin todennäköisyyslaskentaan perustuvien QRA-menetelmien avulla voidaan tuottaa arvioita siitä, kuinka merkittäviä esimerkiksi yksittäiset suojausratkaisut ovat kokonaisriskin tai vaikkapa tiettyyn väestöryhmään kohdistuvan riskin kannalta, sekä kuinka suuria epävarmuuksia analyysin tuloksiin sisältyy.

NATOn AASTP-4-standardin osassa I (NATO 2016) luetellaan ampumatarvikkeiden ja räjähteiden riskipohjaisten analyysien yleisiä etuja:

- analysoivat tilanteita joihin muut menetelmät eivät sovi tai niitä ei ole saatavilla (esim. satamat, kuljetukset, siirtokuormaukset, valmistus, huolto)
- hyvä ymmärrys kausatiivisista riskitekijöistä
- hyvä ymmärrys todellisista riskeistä mikä johtaa paremmin tietoon perustuviin riskipäätöksiin
- hyväksyttävien riskitasojen johdonmukaisuus
- edistää riskin vähentämisen optimointia
- mahdollistaa maankäytön optimoinnin
- osoittaa ylimääräisten turvallisuustoimien hyödyt
- räätälöitävissä halutulle tarkkuustasolle

QRA:n käytöllä on myös omat varjopuolensa. QRA-menetelmät voivat olla paljonkin monimutkaisempia kuin suojaetäisyyden laskenta, ja siksi niiden käyttö voi olla sekä vaativampaa että työläämpää. QRA-menetelmät myös usein tarvitsevat enemmän lähtötietoja, joiden hankkiminen voi olla työlästä, kallista tai pitkäaikaista.

Tässä luvussa tarkastellaan QRA-menetelmien kehitystä ja käyttöä verrokkimaissa, jotka ovat Ruotsi, Norja, Sveitsi ja Itävalta. Tarkemmin tarkastellaan kuutta menetelmää, joista kaksi (AMRISK ja LambdaT) on käytössä verrokkimaissa, kolme (SAFER, IMESAFR ja EQRA) on muuten laajassa käytössä, ja yksi on räätälöity Suomessa. Tarkasteltuja menetelmiä yhdistää myös se, että niistä on ollut riittävästi tietoja käytettävissä. Menetelmien yleisesittelyn lisäksi kuvaillaan niiden tuottamat riskimitat. Lisäksi esitellään tärkeimpiä eroja siviili- ja sotilaspuolen menetelmien välillä, ja tarkastellaan menetelmien yhteensopivuutta NATOn AASTP4-standardin kuvaaman menettelyn kanssa.

### 3.1 Maakohtainen tilanne verrokkimaissa

Toimeksiannossa tarkasteltuja referenssimaita ovat Ruotsi, Norja, Sveitsi ja Itävalta. Ruotsissa ja Norjassa on sotilaspuolella käytössä hyväksytty räjähdekohteiden QRA-menetelmä, jonka ohjelmatoteutus on AMRISK-ohjelma (luku 3.2.4).

Siviilipuolen viranomaisen Ruotsin räjähdeteriskiasioissa on Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), joka on julkaissut hantering av explosiva varor-käsikirjan (ks. tämän raportin luku 4.3.5). Ruotsissa kaikkien joiden pitää hakea lupaa räjähteiden käsittelyyn pitää tehdä tyydyttävä riskiselvitys. Selvityksen pitää

kattaa kaikki onnettomuudet ja vahingot joita voi tulla palovaarallisten tai räjähtävien valmisteiden aiheuttamista paloista ja räjähdyksistä sekä näiden seurauksista. Selvityksessä ei kuitenkaan tarvitse käyttää riskianalyseissä mitään tiettyä analyysimenetelmää.

Ruotsissa on siviilipuolella käytössä Excel-taulukkolaskentaohjelman pohjalle toteutettu, vaikutusanalyysiin tarkoitettu KonExO. Sitä on kehitetty yli 20 vuoden ajan, ja sitä hallinnoi ruotsalainen yritys nimeltä [Kompetenscentrum för Energetiska Material \(KCEM\)](#). Sen omistaa ja sitä ohjaa samanniminen, pohjoismaisten räjähdysainealan toimijoiden yhdistys. KCEM:ään lähetettiin sähköpostitse ohjelmaa, ja yleisemmin QRA-menetelmien käyttöä siviilipuolen räjähderiskianalyseissä koskeva kysely. Kyselyyn saadusta vastauksesta (ruotsalainen siviilipuolen asiantuntija, 4 sähköpostiviestiä ajalla 2.-6.11.2020) ilmenee, että KonExOn laskenta on MSB:n hyväksymä, ja yritykset käyttävät KonExOn tuloksia osana luvanhakua erityisesti räjähteiden valmistukseen liittyen. Myös AMRISKiä käytetään Ruotsin siviilisektorilla mutta vastauksen mukaan vain harvoin.

KonExOn käyttämistä malleista ja menetelmistä ei saatu täsmällistä kuvausta, minkä takia sitä ei esitellä luvussa 3.2. Seuraavassa yleiskuvaus saadun materiaalin (KonExO User's Manual preface, 2009) pohjalta. Rakennukset jaetaan vaarallisiin kohteisiin (donor, paikka jossa räjähdys voi tapahtua) ja suojattaviin kohteisiin (acceptor, paikka johon räjähdysen impakti kohdistuu). Vaarallisia kohteita voivat olla valmistustilat ja varastot, suojattavia kohteita näiden lisäksi ulkopuoliset rakennukset. Räjähdyksen seurauksista käsitellään paineaalto, heitteet ja lämpösäteilyn vaikutus. Räjähdyksen tuottama vapaakenttäpaine annetulla etäisyydellä sekä rakennuksiin kohdistuvat kuormat lasketaan alalla yleisesti käytetyllä Kingery-Bulmash-mallilla (Kingery ja Bulmash 1984, kaavat ks. UNODA 2015), joka koostuu joukosta kokeellisista tuloksista johdettuja polynomeja. Lisäksi laskennassa otetaan huomioon sirpaleiden ja heitteiden syntyvät (räjähteen kuori tai pakkaus, vaarallisen kohteen rakenteet ja laitteet, suojattavan kohteen esim. katon romahtaminen) sekä vaimeneminen.

Norjassa riskianalyysiosaaminen on korkealla tasolla, ja useat alan kansainvälisesti tunnetut tutkijat ovat norjalaisia. Siviilipuolella räjähdekohteiden QRA perustuu kolmelle maan valvontaviranomainen Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (DSB) laatimalle tai laadituttamalle raportille/ohjeistolle, jotka koskevat laajemmin vaarallisten aineiden riskianalyysijä; kaikki kolme perustuvat riskikäyrille, eli yksinkertaistaen sanottuna ajatukselle laitoksen ympäristöön piirrettävästä kuvitteellisesta rajalinjasta jonka ulkopuolella oleilu on paikalliselle väestölle riittävän turvallista jonkin asetetun riskitason mielessä (tarkempi määritelmä on esitetty viitteessä Kristiansen et al. 2019, sivu 3). Teemaraportti (DSB 2012) kuvailee hallinnollisen kehikon, määrittelee hyväksyttävät riskitasot ja ilmaisee sitoutumisen kansainvälisestikin yleisesti käytettyyn ALARP-periaatteeseen (as low as reasonably practicable, riski niin alhainen kuin käytännössä on järkevää). Toinen raportti (DSB 2016) on ensisijaisesti kunnalliseen maankäytön suunnitteluun ja riskienhallintaan vaarallisia aineita käsittelevien laitosten ympärillä laadittu ohjeisto; siinä kuvaillaan asiaan liittyvää hallinnollista kehikkoa, kuvaillaan säännöstenmukaisuuden varmistamisprosessia ja luvitusta. Erilaisia tarkasteluvyöhykkeitä käsitellään kolmesta näkökulmasta: turvallisen etäisyyden säilyttäminen paikalliseen väestöön, laitoksella ja sen ympäristössä tapahtuvien muutosten huomiointi, sekä uusien vaarallisia aineita käsittelevien laitosten perustaminen. Kolmannen raportin (Kristiansen et al. 2019), ohjeiston kvantitatiivisten riskianalyysien suorittamiselle vaarallisille aineille, on DSB laadittanut Lloyd's Register-yrityksellä. Käytännössä raportissa on kyse kolmedimensioisten riskikäyrien laskennasta.

Sotilaspuolella Sveitsillä on yli 40 vuoden kokemus räjähdevarastojen ja räjähteiden käsittelyn kvantitatiivisesta riskianalyysistä (NATO 2016). Useimmille räjähdevarastoille on suoritettu kvantitatiivinen riskianalyysi, ja uusien varastojen hyväksyminen vaatii riskianalyysin. Sveitsiläiset käyttävät riskianalyysiinsä RIMANA-ohjelmistoa, josta ei ole julkisesti tietoa saatavilla. Sveitsiläiset ovat myös olleet aktiivisia tutkimuksen puolella ja he ovat esimerkiksi kehittäneet LambdaT-työkalun heitteisiin liittyvien riskien analyysiin (luku 3.2.5). Riskimittoina sveitsiläiset käyttävät yksilön riskiä ja ryhmän riskiä. Riskit lasketaan räjähdetoimintaan liittyville ja liittymättömille henkilöille erikseen. Henkilöiden altistumiset analysoidaan yksityiskohtaisesti jakamalla aika jaksoihin.

Sveitsiläinen yritys Bienz, Kummer & Partner AG (BK&P) on konsulttitoimisto, jonka erikoisalaa ovat turvallisuussuunnittelu, riskienhallinta ja onnettomuusanalyysit. BK&P on räjähdeteriskialan asiantuntijayritys, se mm. osallistuu Sveitsin edustajana sotilaspuolen räjähdeteriskien analyysin ja hallinnan kansainväliseen yhteistyöhön. Yrityksen asiantuntija kertoi sähköpostihaastattelussa 16.12.2020 maan QRA-tilanteesta seuraavaa. Sveitsissä QRA:ta käytetään laajasti monenlaisissa räjähteiden käsittelytoiminnoissa, erityisesti jos käsitellään suuria räjähdemääriä: sallittujen varastoitavien määrien määrittämisessä, varastojen sijoittamisessa, joskus huoltotoimenpiteiden ja kuljetuksien suunnittelussa jne. Sitä käytetään myös turvallisten etäisyyksien laskennassa: räjähdeterastoille on olemassa evakuointikartat, joihin QRA:lla lasketut turvalliset etäisyydet on merkitty. Mahdollisesti myös asejärjestelmille määritetyt turvalliset etäisyydet perustuvat QRA-laskelmiin.

RIMANA-ohjelmisto perustuu Sveitsin varastointisäädöksiin (TLM). Ohjelmisto on saksankielinen ja se on luokiteltu salaiseksi ("restricted"). Jotkut TLM:n mallit on kuvattu AASTP-4 osa II:ssa. RIMANAn toiminnot kattavat enimmäkseen räjähdeterastoversiöitä. Joissain harvinaisissa tapauksissa käytetään muita AASTP-4:ssä esitettyjä malleja. Muissa kuin räjähdeterastoversiöissä, kuten kuljetusten analyysissä, pitää käyttää muita malleja täydentämään RIMANAA. RIMANA ei ole kaupallinen tuote, ja sitä ovat tähän mennessä käyttäneet vain sveitsiläiset toimijat. Mallinrakennusvaiheessa Sveitsissä tavallisesti käytetään muita ohjelmia kuten LambdaT (kuolettavuuden arviointiin vapaakentässä ja rakennuksissa heitteistä johtuen) tai Klotz Group Engineering Tool (heitteiden laskentaan betonivarastoista tai konteista). Kun malli on valmis, se toteutetaan TLM:ssä ja RIMANAssa. Tällä hetkellä käytössä oleva ohjelman versio RIMANA 4, joka kehitettiin 10 vuotta sitten, ei kaikilta osin toimi halutulla tavalla, ja siksi BK&P on seuraavien muutaman vuoden aikana kehittämässä RIMANA 5:ttä.

Sveitsin siviilipuolella QRA:ta käytetään osana räjähdeterastojen luvitusta koskien varaston sijoitusta ja suunnittelua. Sitä käytetään yleensä kun suojaetäisyyskriteerit eivät täyty. RIMANAA käytetään myös siviilipuolella: jos QRA täytyy tehdä (suojaetäisyydet eivät täyty), sveitsiläiset siviilipuolen toimijat voivat ottaa yhteyttä BK&P:hen ja käyttää RIMANAA. BK&P ei ole tietoinen että siviilipuolella muita sveitsiläisiä QRA-ohjelmia olisi olemassa, mutta vakaviin uhkiiin liittyvistä säädöksistä vastaavat tahot ovat käynnistäneet projektin sellaisten mallien/ohjelmien kehittämiseksi jotka mahdollistaisivat räjähdysten vaikutusten karkean arvioinnin. Ulkomaisista siviilipuolen QRA-ohjelmista ainakin jotkut sveitsiläiset yritykset ja viranomaiset tietävät IME-SAFRin, ja BK&P:lläkin on sen lisenssi.

Siviili- ja sotilaspuolen QRA:ssa käytetyt työkalut ovat samat, mutta riskien arvioinnissa käytettävät kriteerit poikkeavat. Siviilisektorilla käytetään vakavien uhkien säädöksissä olevaa F-N-käyrää [vrt. tämän raportin luku 4.4.1], mukaan lukien aversiokerroin, ja sitä sovelletaan vain kolmannen osapuolen [räjähdeterasteiden ulkopuoliset, "siviilit"] ihmisiin. Myös siviilipuolella on olemassa räjähdeterasteiden perustuvia turvallisuuskriteerejä jotka muistuttavat sotilaspuolen kriteerejä kun käytetään QRA:ta. Sotilaspuolella käytetään, vakavien uhkien säädösten lisäksi, WSUMEA [Weisungen über das Sicherheitskonzept für den Umgang mit Munition und Explosivstoffen, sveitsiläinen ampumatarvikkeiden ja räjähteiden käsittelyn turvallisuusohjeisto] jossa on ylärajat yksilöriskille ja marginaalikustannuslähestymistapa ryhmäriskille (lähes samalla aversiokertoimella), se pätee kaikkiin altistuviin ihmisiin, ja siinä on eri kriteerit siitä riippuen mikä on henkilön suhde vaaralliseen toimintaan.

Henkilön suhteella vaaralliseen toimintaan sveitsiläinen asiantuntija viitanee usein käytettyyn jakoon, jossa määritellään erilaiset sallitut riskitasot kolmelle ryhmälle: ensimmäinen osapuoli eli toimintaan suoraan osallistuvat (esim. räjähdeteraston työntekijät); toinen osapuoli eli toimintaan epäsuorasti osallistuvat (esim. laitoksen toimistohenkilökunta); ja kolmas osapuoli eli ulkopuoliset (esim. lähistöllä asuvat, lähistöllä työskentelevät).

Itävaltaan lähetettiin sähköpostikyselyt sekä sotilas- että siviilipuolelle. Sotilaspuolelta ei ole saatu vastausta. Sen sijaan siviilipuolelta kyselyyn vastasi räjähdeterastoturvallisuuden asiantuntija, joka kertoi lyhyesti seuraavaa. Siviilipuolella (esim. kaivosten ja louhosten räjähteet, räjähteiden varastointi ja tuotanto) malli on deterministi-

nen suojaetäisyysmalli, joka perustuu karkeasti ottaen TNT-malliin (räjähdyksessä vapautuva energia muunnetaan vastaavan TNT-räjähteen massaksi). Suojaetäisyydet lasketaan TNT-massan, naapurissa olevien rakennusten haavoittuvuuden sekä räjähdekohteen ja naapurirakennusten ominaisuuksien perusteella (vrt. TUKESin [www.sivuilla](http://www.sivuilla) kuvattu suojaetäisyyslaskenta). Säädös- ja määräyspohjasta siviilipuolelle vastaa talousministeriö. Lupien myöntämisen ja tarkastukset hoitavat aluetason viranomaiset. Nämä viranomaiset ovat lähinnä juristeja, ja heitä avustavat, myöskin aluetasolla, niin kutsutut hallinnolliset asiantuntijapalvelut, jollaiseen mainittu asiantuntijakin kuuluu. Asiantuntija esitti arvion, että Itävallan sotilaspuolellakin käytetään samaa determinististä suojaetäisyysmallia.

### 3.2 Menetelmien kuvaukset

Tässä luvussa esitellään keskeisiä QRA-menetelmiä. Katsaus ei ole kattava, vaan pois on rajattu joitakin mielenkiintoisimpiakin menetelmiä. Yksi pois jätetty, räjähdekohteen riskianalyyssissäkin (Papazoglou et al 2009) käytetty menetelmä on tapahtumapuut; tätä PRA:ssa yleisesti käytettyä menetelmää kuvataan yleisellä tasolla luvussa 6.6.

#### 3.2.1 Räjähderiskianalyysi yleisellä tasolla

Tyypillisimmät räjähderiskeille laskettavat riskimitat ovat yksilön riski ja ryhmän riski (tai kollektiivinen riski) (NATO 2016). Yksilön riski määritellään yleensä todennäköisyytenä, että yksittäinen ihminen kuolee vuoden aikana tarkasteltaviin räjähteisiin liittyvässä onnettomuudessa. Yksilön riski voidaan laskea kaavalla

$$R_I = P(e)P(f|e)P(E),$$

missä  $P(e)$  on räjähdys todennäköisyys,  $P(f|e)$  on todennäköisyys, että ihminen kuolee, jos räjähdys tapahtuu, ja  $P(E)$  on todennäköisyys, että ihminen on paikalla räjähdys tapahtuessa. Ryhmän riski määritellään tyypillisesti kuolemien odotusarvoisena määränä vuoden aikana. Se on käytännössä summa kaikkien yksilöiden riskeistä.

Räjähdyksen todennäköisyys vuoden aikana voidaan estimoida historiallisen datan pohjalta, käyttäen analyttisiä menetelmiä tai käyttäen asiantuntija-arviota. Historiallisen datan käyttöä suositaan, jos sopivaa dataa on saatavilla.

Kuoleman todennäköisyyden estimoimiseksi on analysoitava räjähdys erilaisia vaikutuksia. Kuolemaan johtavia vaikutuksia voivat olla räjähdysaalto, lentävät sirpaleet/heitteet (debris), lämpö ja tärinä (ground shock).

Räjähdysaalto voi mm. aiheuttaa keuhkon repeämän, lennättää ihmisen päin objektia tai maahan, romahduttaa rakennuksen tai särkeä ikkunoita niin, että lasia lentää ihmisen päälle. Seurausten analysoimiseksi lasketaan tyypillisesti ensin paine ja impulssi. Rakennusten vaimentava vaikutus voidaan myös huomioida laskennassa. Kuoleman todennäköisyyden määrittämisessä on huomioitava kukin edellä mainituista kuolonmekanismeista.

Sirpaleita/heitteitä voi lentää itse räjähteistä, rakennuksesta, sekä maasta. Analyysissä on määritettävä, kuinka paljon sirpaleita/heitteitä lentää altistuskohteeseen (rakennukseen/paikkaan, jossa on altistuneita ihmisiä), ja millä todennäköisyydellä sellainen osuu ihmiseen. Osa sirpaleista/heitteistä saattaa pysähtyä rakennuksiin ja esteisiin. Sirpaleiden/heitteiden tappavuus riippuu niiden liike-energiasta.

Lämpövaikutukset liittyvät vain tietynlaisiin materiaaleihin, erityisesti vaarallisuusluokan 1.3 materiaaleihin. Tulipallon sisällä kuolleisuus on suurta. Sen ulkopuolellakin lämpösäteily voi aiheuttaa vakavia vaurioita riippuen altistusajasta ja suojavaatetuksesta.

Maan tärinä voi myös aiheuttaa tuhoa. Vaikutukset voivat olla merkittäviä erityisesti maanalaisten varastojen kohdalla.

Altistumistermiä varten täytyy määrittää, kuinka suuren osan ajasta ihminen on altistuskohteessa silloin, kun räjähteitä on paikalla. Tätä varten on syytä tarkastella esimerkiksi alueella työskentelevien ihmisten työaika-tauluja. Ihmisiä voidaan jakaa ryhmiin aikataulujen mukaan, ja aika voidaan jakaa sopiviin jaksoihin.

### 3.2.2 Institute of Makers of Explosives Safety Analysis for Risk (IMESAFR)

IMESAFR (A-P-T Research, Inc. 2015) on kaupallinen kvantitatiivinen riskienarviointityökalu, jota käytetään kaupallisten räjähdemaalien toimijoiden henkilöstöön kohdistuvaan riskin laskemiseen. IMESAFR on ollut kaupallisesti saatavilla vuodesta 2007 lähtien. IMESAFR-työkalu pohjautuu Yhdysvaltojen puolustusministeriön SAFER-malliin, mutta se on tarkoitettu siviiliräjähteiden riskien arviointiin (Tatom et al. 2014). IMESAFR sisältää huomattavan määrän lisätoimintoja verrattuna sotilasräjähteiden riskien laskennassa käytettävään SAFER-malliin ja toisaalta siitä puuttuu joitain SAFER:sta löytyviä sotilasräjähteisiin liittyviä ominaisuuksia. Vuonna 2013 julkaistussa versio 2.0:ssa on entistä enemmän ryhdytty eriyttämään IMESAFR:a SAFER:sta pääasiassa siitä syystä, että käytettävän geografisen tietojärjestelmän datan muoto on sotilaspuolella eri-laista kuin siviilipuolella.

IMESAFR on käytössä laajasti Pohjois-Amerikassa (Yhdysvallat ja Kanada), mutta sitä käytetään myös mm. Australiassa. Euroopassa IMESAFR ei ole laajalti käytössä.

IMESAFR:n analyysissä määritetään kolme päämuuttujaa:

- Tapahtuman todennäköisyys
- Kuoleman todennäköisyys sillä ehdolla, että tapahtuma tapahtuu
- Henkilön altistuminen

Yksilön riski, tässä tapauksessa kuoleman todennäköisyys vuoden aikana, lasketaan näiden muuttujien tulona. Ryhmän riski taas lasketaan summana yksilöiden riskien yli. IMESAFR:ssa lasketaan myös vakavien ja lievien loukkaantumisten todennäköisyyksiä. Tämä tapahtuu korvaamalla 'kuoleman todennäköisyys sillä ehdolla, että tapahtuma tapahtuu' vastaavalla loukkaantumisen ehdollisella todennäköisyydellä.

IMESAFR:n räjähdysmallit pohjautuvat fysiikkaan, sekä testi- ja onnettomuusdataan niiltä osin kuin dataa on saatavilla. Malleja päivitetään, kun uutta dataa kertyy. Niiltä osin kuin dataa on ollut vähän, mallit ovat konservatiivisia.

Kvantitatiivisen riskianalyysin lisäksi IMESAFR:lla lasketaan myös suojaetäisyyksiä (quantity distance).

IMESAFR:n menetelmä koostuu 26:sta analyysiaskeleesta. Askeleessa 1 syötetään räjähteisiin liittyvät tiedot. Askeleessa 2 määritetään tapahtuman todennäköisyys. Askeleessa 3 määritetään altistumiset. Askeleessa 4 määritetään räjähdykseen osallistuvien räjähteiden määrä. Askeleet 5-22 liittyvät seurausten ja vaikutusten laskentaan. Askeleissa 23-26 lasketaan kokonaisriski.

#### 3.2.2.1 Lähtötiedot

Analyysin lähtötietoja ovat:

- räjähteiden tiedot
  - o tyyppi
  - o vaarallisuusluokka
  - o maksimaalinen nettomassa
  - o odotettu nettomassa
  - o varastoinnin yhteensopivuusryhmä (storage compatibility group)
- räjähteitä sisältävä rakennus
  - o luokka

- o tyyppi
- o käyttötunnit
- o toiminnan tyyppi
- o koko
- o muoto
- o suuntautuminen
- o maaperän tyyppi
- o ulkoiset tekijät
- altistumisrakennus
  - o tyyppi
  - o katon tyyppi
  - o koko
  - o muoto
  - o suuntautuminen
  - o ikkunoiden osuus pinta-alasta
  - o ikkunoiden tyyppi
  - o ihmisryhmät rakennuksessa. Kullekin ryhmälle:
    - henkilöiden määrä (myös yläraja ja alaraja)
    - henkilöiden suhde räjähteitä sisältävään rakennukseen
    - käyttötunnit
    - kuinka suuren osan ajasta räjähteitä on potentiaalisessa räjähdysrakennuksessa, kun ihmiset ovat paikalla altistumisrakennuksessa
- esteet räjähteitä sisältävien rakennusten ja altistumisrakennusten välissä

IMESAFR:ssa on karttaan perustuva käyttöliittymä, jonka avulla osa tiedoista (rakennusten sijainnit, koot, suuntautuminen, jne.) määritellään. Edellä esitetty lista on tuskin täydellinen. Se on laadittu viitteen (A-P-T Research, Inc. 2015) tietojen pohjalta.

#### 3.2.2.2 Tapahtuman todennäköisyys

IMESAFR:ssa käytetään IME:n (Institute of Makers of Explosives) jäsenyritysten keräämän datan ja Yhdysvaltain puolustusministeriön julkaisemien arvojen pohjalta kehitettyä taulukkoa. Tapahtuman todennäköisyys saadaan IMESAFR:n taulukosta seuraavien kolmen parametrin perusteella:

- Potentiaaliseen räjähdyspaikkaa liittyvän toiminnan tyyppi
- Varastoinnin yhteensopivuusryhmä
- Ulkoiset tekijät

Käyttäjän on myös mahdollista määritellä tapahtuman todennäköisyys itse.

#### 3.2.2.3 Vaikutukset ja seuraukset

Räjähdyksellä on useita potentiaalisesti kuolemaan johtavia vaikutuksia. IMESAFR:ssa vaikutukset on jaettu neljään haaraan:

1. Paine ja impulssi.
2. Rakenteellinen vaste. Paine ja impulssi vaikuttavat altistumispaikkojen rakenteisiin. Analysoitavia seurauksia ovat rakennuksen romahtaminen ja ikkunoiden hajoaminen.
3. Sirpaleet/heitteet.
4. Lämpö. Lämpövaikutuksia analysoidaan ainoastaan potentiaalisen suurpalon tapauksessa.

Laskentamallit pätevät tyypillisesti vain tiettyä minimietäisyyttä kauempana oleviin kohteisiin. Lähempänä oleviin kohteisiin sovelletaan SCIFM-lähestymistapaa (simplified close-in fatality mechanism). Tiettyä etäisyyttä lähempänä kuoleman todennäköisyyden oletetaan olevan vakio, yleensä 1. Välimaaston etäisyyksiin SCIFM:ssä sovelletaan lineaarista todennäköisyysmallia.

Ennen vaikutusten analysointia määritetään räjähdykseen osallistuvien räjähteiden määrä, eli nettomassa kertaa räjähdykseen osallistuvien räjähteiden osuus. Tämä osuus määritetään vaarallisuusluokan perusteella käyttäen IMESAFR:n taulukkoarvoja. Saatavaa räjähteiden massaa skaalataan vielä räjähdemateriaaliin liittyvällä TNT-muuntokertoimella, joskin usein muuntokerroin on 1.

#### 3.2.2.3.1 Paine ja impulssi

Analyysi etenee seuraavien askeleiden mukaisesti (askeleet numeroitu viitteen A-P-T Research, Inc. 2015 mukaisesti, ks. luvun 3.2.2 johdanto).

**Askel 5:** Avoimen ilman paine ja impulssi perustuvat yksinkertaistettuun Kingery-Bulmash puolipallo-räjähdys-yhtälöön. Laskennassa ei vielä huomioida rakennuksia.

**Askel 6:** Lasketaan paine ja impulssi potentiaalisen räjähdysalueen ulkopuolella huomioiden räjähdysrakennuksen vaikutus ja esteet räjähdysrakennuksen ja altistusalueen välillä. Rakennuksen vaimentava vaikutus riippuu sen rakenteellisesta vahvuudesta ja massasta. Kevyiden tai heikkojen rakennusten ei oleteta vaimentavan räjähdystä. Mahdollinen rakennuksen vaikutus huomioidaan skaalaamalla räjähteiden massaa ja suorittamalla askeleen 5 laskut uudestaan. Räjähdysrakennuksen ja altistusalueen välisen esteen vaikutus huomioidaan vain, kun este täyttää tietyt kriteerit, eli suojaa altistusrakennusta riittävästi. Räjähdysrakennuksen komponenttien (seinät ja katto) ehjänä säilyvät osuudet määritetään räjähteen massan ja rakennustyyppiin liittyvien parametrien pohjalta.

**Askel 7:** Henkilöihin vaikuttaviin paineeseen ja impulssiin lasketaan myös altistusrakennuksen suojaava vaikutus. Laskennassa huomioidaan "tuuletusalueiden" (ikkunat ja avoimet osat) osuus rakennuksesta. Hyvin "avoimien" rakennusten vaikutusta ei huomioida.

**Askel 8:** Kuolettavuuden laskennassa huomioitavia mekanismeja ovat keuhkon repeämä, vartalon siirtymä ja kallomurtuma. Kuoleman todennäköisyys lasketaan hollantilaisella probittifunktiolla.

#### 3.2.2.3.2 Rakenteellinen vaste

Tässä analyysiharassa määritetään paineen ja impulssin vaikutukset altistusrakennukselle (askel 9) ja lasketaan kuoleman todennäköisyys rakennuksen romahtamisen tai ikkunoiden hajoamisen takia (askel 10).

Ikkunoiden suhteen määritetään ensin, hajoaako ikkuna, voiko henkilöitä olla vaikutusalueella ja aiheuttaisiko ikkunan hajoaminen kuoleman. Todennäköisyys, että vaikutusalueella on henkilö, lasketaan ihmisten määrän ja rakennuksen pinta-alan perusteella. Kuoleman todennäköisyys määritetään vakavista loukkaantumisista kerätyn datan pohjalta olettaen tietty korrelaatio kuolemien ja vakavien loukkaantumisten välillä.

Rakennuksen (sekä sen komponenttien) hajoamisosuus määritetään rakennuksen tyyppin, sekä paineen ja impulssin perusteella. Kuoleman todennäköisyys määritetään hajoamisosuuden ja rakennusmateriaalin pohjalta.

#### 3.2.2.3.3 Sirpaleet/heitteet

Analyysi sisältää seuraavat kahdeksan askelta:

**Askel 11:** Räjähteistä lentävien sirpaleiden määrä lasketaan räjähteiden kokonaismassan ja yksittäisen räjähteen massan perusteella. Ainoastaan räjähdopinon ulkoreunalla olevat räjähteet lasketaan. Sirpaleet jaetaan kymmeneen massaryhmään räjähteiden tyyppin perusteella. Kullekin sirpaleeryhmälle määritetään alkunopeus, ja sen perusteella maksimaalinen lentomatka.

**Askel 12:** Määritetään, kuinka suuri osuus sirpaleista pysähtyy räjähdysrakennukseen. Tätä varten sirpaleet jaetaan kattoon osuviin sirpaleisiin (25 %) ja seinään osuviin sirpaleisiin (75 %). Seinään osuvat sirpaleet jaetaan vielä niihin, jotka saattaisivat osua räjähdysrakennuksen ja altistusrakennuksen väliseen esteeseen (90 %), ja niihin, jotka ylittävät esteet (10 %). Seiniin osuvat sirpaleet jaetaan vielä kullekin seinälle pinta-alojen suhteessa. Seinät ja katon läpäisevien sirpaleiden määrät lasketaan rakennustyyppikohtaisista sirpaleiden estokertoimista ja sen mukaan, kuinka suuri osuus seinistä ja katosta hajoaa, mikä on määritetty aiemmin painetta ja impulsseja tarkasteltaessa.

**Askel 13:** Rakennuksen estämät sirpaleet vähennetään sirpaleiden kokonaismäärästä kussakin ryhmässä. Rakennuksesta lähtevien sirpaleiden nopeus kussakin ryhmässä määritetään rakennusmateriaalien perusteella.

**Askel 14:** Rakennuksesta lentävien heitteiden ja kraatterista lentävien heitteiden määrät ja maksimaaliset lentomatkat määritetään. Rakennuksesta lentävien heitteiden määrä lasketaan räjähteiden massan ja rakennustyyppiin liittyvien parametrien perusteella. Heitteet jaetaan massaryhmiin rakennusmateriaalien perusteella. Kullekin ryhmälle määritetään alkunopeus, ja sen perusteella maksimaalinen lentomatkä. Kraatterista lentävien heitteiden analysoiminen aloitetaan määrittämällä kraatterin säde ja heitteiden massa räjähteiden massan ja maaperän tyyppin mukaan. Heitteet jaetaan massaryhmiin, ja kunkin ryhmän maksimaalinen lentomatkä määritetään.

**Askel 15:** Rakennuksesta ja kraatterista lentävät heitteet jaetaan katosta ja seinistä lentäviin, ja seinistä lentävät väliesteet ylittäviin ja esteisiin osuviin. Kunkin ryhmän lentomatkälle määritetään todennäköisyysjakauma, minkä perusteella altistusrakennukseen osuvien sirpaleiden ja heitteiden määrä voidaan laskea.

**Askel 16:** Kullekin lentävien kappaleiden ryhmälle määritetään nopeus ja liike-energia saavuttaessa altistusrakennukselle.

**Askel 17:** Lentävien kappaleiden liike-energiat päivitetään sen mukaan, mihin altistusrakennuksen osiin ne osuvat (seiniin, ikkunoihin, jne.). Eri rakennustyyppit ja materiaalit vaikuttavat eri tavoin. Paineen ja impulssin aiheuttamat vauriot voidaan myös huomioida. Käyttäjä saa valita, mitkä lentävistä kappaleista saapuvat altistusrakennukselle ennen painevaikutuksia ja mitkä niiden jälkeen. Rakennuksen läpäisevien kappaleiden määrä määritetään liike-energioiden, rakennuksen komponenttien ja paineen ja impulssin aiheuttamien vaurioiden perusteella.

**Askel 18:** Todennäköisyys, että lentävä kappale osuu ihmiseen, määritetään Poisson-jakaumaa käyttäen saapuvien kappaleiden määrän ja ihmistä edustavan pinta-alan pohjalta. Ehdollinen todennäköisyys, että ihminen kuolee osumasta, määritetään kappaleen liike-energian mukaan. Lopuksi eri kappaleryhmiin liittyvät kuoleman todennäköisyydet lasketaan yhteen.

#### 3.2.2.3.4 Lämpö

Lämpöhasardikerroin lasketaan räjähteiden massan ja potentiaalisen räjähdyspaikan ja altistusalueen etäisyyden perusteella, ensin huomioimatta rakennusta (askel 19) ja sitten räjähdysrakennus huomioiden (askel 20). Altistusrakennukselle lasketaan lämmönestokerroin rakennuksen tyyppin ja ikkunoiden määrän perusteella (askel 21). Kuoleman todennäköisyys lasketaan lämpöhasardikertoimen ja lämmönestokertoimen pohjalta (askel 22). Tulipallon säde lasketaan myös, ja jos altistusrakennus on tulipallon sisällä, kuoleman todennäköisydeksi oletetaan 1.

#### 3.2.2.4 Altistuminen

Altistumista mitataan todennäköisyytenä, että henkilö on paikalla tapahtuman sattuessa. IMESAFR:ssa ei ole menetelmiä altistumisen laskemiseksi, mutta käyttäjän syötteistä lasketaan varsinainen altistumistermi. Altistuksen määrittäminen tapahtuu seuraavien askelin:



1. Henkilöiden määrä altistusrakennuksessa
2. Henkilöiden ryhmittely aikataulun mukaan (vapaaehtoinen)
3. Paikallaolotuntien määrä vuodessa
4. Kuinka usein henkilöryhmät ovat paikalla, kun räjähteitä on potentiaalisessa räjähdysrakennuksessa

### 3.2.2.5 Kokonaisriskin laskenta

Räjähdyksen eri vaikutuksiin liittyvät kuoleman todennäköisyydet lasketaan yhteen niin, että saadaan kuolemalle kokonaistodennäköisyys sillä ehdolla, että räjähdys tapahtuu (askel 23). Tämän jälkeen lasketaan yksilön riski ja ryhmän riski kullekin räjähdyskohde/altistuskohde-parille (askel 24). Räjähdyskohteen kokonaisriski lasketaan summaamalla kuhunkin altistuskohteeseen liittyvä vastaava riski (askel 25). Altistuskohteen kokonaisriski lasketaan summaamalla kuhunkin räjähdyskohteen liittyvä vastaava riski. Lopuksi lasketaan kokonaisriski huomioiden kaikki potentiaaliset räjähdyskohteet ja altistuskohdet (askel 26).

### 3.2.3 The Safety Assessment for Explosives Risk (SAFER)

SAFER on Yhdysvaltain puolustusministeriön työkalu sotilasräjähteiden riskien arviointiin (Department of Defence Explosives Board, 2000). Edellisessä luvussa esitetty IMESAFR kehitettiin SAFER:n pohjalta.

SAFER:ssa lasketaan samoja riskimittoja kuin IMESAFR:ssa, eli yksilön riskiä ja ryhmän riskiä. SAFER:ssa riskejä lasketaan kuitenkin erikseen räjähdetoimintaan liittyville henkilöille ja siihen liittymättömille henkilöille. Riskejä voidaan laskea asutuissa rakennuksissa oleville ja julkisia kulkureittejä käyttäville ihmisille.

SAFER perustuu samoihin 26 analyysiaskeleeseen kuin IMESAFR. IMESAFR:ssa ei ole joitakin sotilaspuolen räjähteiden käsittelyyn liittyviä erityispiirteitä, ja SAFER:ssa ei ole kaupallisen räjähdetoiminnan erityispiirteitä. Toisin sanoen menetelmät ovat yleisellä tasolla samoja, mutta eroavat joissakin yksityiskohdissa toisistaan. Ainakin seuraavien lähtötietojen valintavaihtoehdoissa on eroja (Tatom 2007):

- Räjähdyskohteen tyyppi ja luokka
- Räjähdetyyppi
- Räjähteisiin liittyvän toiminnan tyyppi
- Maaperän tyyppi

Kullakin edellämainituista tyypeistä on omat mallinsa, joten työkalujen algoritmeissa on eroja niiden suhteen. IMESAFR:ssa räjähdyskohteen ja altistuskohteen välisten esteiden sijoittelu on vapaampaa, koska sotilaspuolella esteet ovat tyypillisesti lähempänä altistuskohteita, mutta kaupallisella puolella on myös esteitä räjähdyskohteen lähellä. SAFER:ssa ei huomioida luonnon esteitä, esim. metsää, kuten IMESAFR:ssa. SAFER:sta puuttuu joitakin tapahtumatodennäköisyyttä laskevia ulkoisia tekijöitä, joita IMESAFR:ssa on, kuten vesipohjaisten räjähteiden käyttö. Syötettävien datojen muodot ovat myös erilaiset. Työkalujen käyttöliittymät olivat ensin samanlaiset, mutta nykyään ne ovat ilmeisesti erilaiset (Tatom et al. 2014).

### 3.2.4 AMRISK

AMRISK (Holm et al. 2006) on ohjelmisto, jolla voidaan kvantifioida räjähdevarastojen aiheuttamaa kuolemantapausten riskiä. AMRISK perustuu 1985 Norjassa käyttöönotettuun riskianalyysiohjelmistoon AMMO-RISK:in, joka on alun perin tehty sveitsiläisiin ohjeistoihin perustuen. AMRISK on käytössä Norjassa ja Ruotsissa. AASTP-4 osa I:ssä (NATO 2016) mainittu norjalais-ruotsalainen konsensusmalli on se malli joka on toteutettu AMRISK versio 2.0:ssa. Tämän kertoi norjalainen sotilaspuolen asiantuntija (yksi AMRISKin kehittäjästä) vastauksessaan samaan sähköpostikyselyyn jossa häneltä kysyttiin myös Norjan sotilaspuolen säädöksistä (luku 4.2) ja QRA-mallien todentamisesta ja kelpoistamisesta (luku 5.4). Hän lisäsi:

*tosin AASTP-4:ssä voi olla pieniä yksityiskohtia jotka haluaisimme muuttaa. AMRISK-ohjelma ei sisällä hyväksymiskriteerejä, vaan kattaa riskien laskennan. Norjassa ja Ruotsissa on erilaiset hyväksymiskriteerit, ja maat myös vertaavat eri arvoja kollektiivisen riskin suhteen.*

AMRISK:n laskenta jakautuu neljään osakokonaisuuteen:

- tapahtuman todennäköisyys
- vaikutukset ja seuraukset
- altistuminen
- riskin laskenta.

AMRISK on sovellettavissa Taulukossa 2 esitettyihin varastorakenteisiin. Varastojen muodolle ja tietyissä tapauksissa maapeitteisyydelle on myös omat kriteerinsä. Vapaasti seisova rakennus tulee olla AMRISK:ssä joko tiili- tai betonirakenteinen.

*Taulukko 2. Varaston tilavuus ja sisältö, joihin AMRISK -laskentatyökalu soveltuu*

Varaston tyyppi	Koko / m <sup>3</sup>	Sisältö / t TNT	Varastointitiheys / kg TNT/m <sup>3</sup>
Maanalainen	2000 - 10000	1 - 200	0,1 - 100
Maahan upotettu	1000 - 5000	5 - 100	1,0 - 100
Maalla peitetty	500 - 600	1 - 50	2,0 - 100
Vapaasti seisova	600 - 3000	1 - 100	0,3 - 100

#### 3.2.4.1 Varastojen tyypit AMRISK:ssä

Ohjelmistolla tarkasteltavia räjähdevarastoja tai potentiaalisia räjähdyskohteita on neljää eri tyyppiä:

- vapaasti seisova (freestanding),
- maalla peitetty (earth covered, maata päällä 0,5 - 1 metriä),
- maahan upotettu (earth-buried, maata päällä 1-2 metriä),
- maanalainen (underground).

Edellä mainituista vapaasti seisova, maalla peitetty ja maahan upotettu luokitellaan kaikki maanpäällisiksi rakenteiksi ja ne ovat tiili- tai betonirakenteisia.

Maanalaisia rakenteita on kolmea tyyppiä: UG1, UG2 ja UG3. Eri tyypeillä kuvataan räjähdevaraston muotoa ja tunnelirakennetta. UG3:ssa on sulkemisjärjestelmä, joka sulkee räjähdystilanteessa tilan ulostulokäytävän. UG2:ssa on räjähdysenvaimentimet (blast traps) sekä varastotilassa että kulkutunnelissa. UG2 soveltuu ainoastaan tilanteisiin, joissa räjähdysaineen varastointitiheys on alle 50 kg/m<sup>3</sup>. UG1:ssa ei ole sulkemisjärjestelmää, eikä räjähdysenvaimentimia.

#### 3.2.4.2 Altistuvien kohteiden/rakenteiden tyypit

Ihmisten altistuminen räjähdysen vaikutuksille ja siitä aiheutuva kuolleisuus riippuu altistuvien kohteiden/rakenteiden tyypistä ja muodosta. AMRISK:ssä on käytössä seuraavat kohdetyypit:

- vapaakenttä (free-field); ulkotila
- kevyt rakennus; esim. peltihalli tai paljon ikkunapintaa omaava rakennus
- tavanomainen rakennus; puusta tai kevyistä tiilistä rakennettu rakennus
- vahva rakennus; vahvasta betonista rakennettu rakennus
- auto

- juna

Metsän vaikutusta arvioitaessa oletetaan, että jokaisella 25 neliömetrin alueella kasvaa vähintään yksi 10 metrin pituinen puu. Autot ja junat voivat olla räjähdystilanteessa epäsuotuisissa olosuhteissa, mikäli tie tai rautatie kulkee sillalla, jyrkänteessä tai metsässä.

Muita käytettävissä olevia kohdemuotoja AMRISK:ssä ovat

- kiinteä piste
- rajattu alue
- rajoittamaton alue
- lineaarinen vapaakenttä
- suora tie
- suora juna

Ihmiset ovat em. kohteissa joko yksittäisessä pisteessä tai tasaisesti jakautuneina linjalle tai alueelle. Tien ja rautatien osalta jakautuminen riippuu kulkunopeudesta ja kulkutaajuudesta.

#### 3.2.4.3 Tapahtuma-analyysi

Räjähdevaraston räjähdysten todennäköisyys vuoden aikana  $P_E$  lasketaan kaavalla

$$P_E = P_0 + k_p W,$$

Jossa  $W$  on räjähdysaineen nettomassa tonneina, ja  $P_0$  ja  $k_p$  ovat varaston tyypistä ja räjähdysaineen tyypistä riippuvia vakioita.

Käyttäjän on myös mahdollista syöttää räjähdysten todennäköisyys suoraan ilman laskukaavoja.

#### 3.2.4.4 Fysikaaliset vaikutukset

Fysikaaliset vaikutukset riippuvat räjähdyspaikan ominaisuuksista ja rakenteesta sekä varastoidun räjähdysaineen määrästä. AMRISK:ssä on erilliset laskentatavat maanpäällisille (vapaasti seisova, maalla peitetty tai maahan upotettu) ja maanalaisille kohteille. Vaikutuksia lasketaan sirpaleille/heitteille, painevaikutuksille ja maanpäällisissä rakenteissa räjähteen aiheuttamalle kraatterille.

##### 3.2.4.4.1 Sirpaleet/heitteet

Sirpaleita/heitteitä on kolmea tyyppiä: räjähteistä lentävät sirpaleet, rakennuksesta lentävät osat ja maasta lentävät heitteet. Sirpaleiden/heitteiden kokonaismassa lasketaan summaamalla näiden eri tyyppien massat. Rakennuksesta lentävien osien massa on käyttäjän antama parametri. Muiden sirpaleiden/heitteiden massat lasketaan räjähteiden massan perusteella. Sirpaleiden/heitteiden lentomatkan oletetaan jakautuvan eksponentiaalisesti. Eri varastotyypeille käytetään eri tavalla parametrisoituja jakaumia.

Maanalaisen varaston kraatterista lentäville heitteille on omat kaavansa, joiden parametreja ovat räjähteiden massa, varaston syvyys, maan kaltevuus ja tarkastelukulma. Maanalaisen varaston tunnelista lentävien heitteiden laskennassa huomioidaan räjähteiden massa, varaston tilavuus ja tunnelin geometria.

##### 3.2.4.4.2 Räjähdysaalto

Räjähdysaalto johtuvan kuoleman todennäköisyys riippuu maksimipaineesta ja dynaamisesta impulssista. Paine ja räjähdysaallon kesto lasketaan räjähteiden massan ja räjähdysrakennuksen ja altistusalueen välisen

etäisyyden perusteella. Dynaaminen impulssi lasketaan paineen ja keston perusteella. Malli ei päde tiettyä räjähteiden massasta riippuvaa rajaa lähempänä oleviin kohteisiin, mutta silloin kuoleman todennäköisyyden oletetaan olevan 1.

Maalla peitetyille varastolle paine ja räjähdysaallon kesto riippuvat tarkastelusuunnasta. Eri suunnille on omat parametrinsa, ja sivusuuntien tapauksessa otetaan myös kulma huomioon erillisellä kaavalla.

Maahan upotetun varaston tapauksessa paineen tasa-arvokäyrät oletetaan ellipsin muotoisiksi ja laskenta-kaavat ovat erilaiset kuin muissa tapauksissa.

Maanalaisen varaston kraatterin räjähdysaallon laskennassa huomioidaan myös, kuinka syvällä varasto on. Maanalaisen varaston tunnelista lähtevä räjähdysaalto riippuu rakenteen tyypistä, sekä tunnelin ja varaston geometriasta. Paineen laskentaan löytyy yksityiskohtaiset kaavat, jotka huomioivat erilaiset geometriat, mahdolliset esteet, käytävän muodot (laajennukset, kavennukset, mutkat, risteykset) ja seinämän pinnankarkeuden.

#### 3.2.4.4.3 Kraatteri

Maanpäällisen rakenteen kohdalla kraatterin oletetaan ulottuvan 15 metrin etäisyydelle varastorakennuksen seinistä. Kraatterin osalta oletetaan täysi kuolleisuus. Muihin vaikutuksiin verrattuna kuopan vaikutus kokonaisvaikutusten arvioinnissa on oleellinen vain pienissä räjähdyksissä.

Maanalaisissa räjähdyksissä kuoppa/kraatteri voi tulla varastotilan yläpuolelle. AMRISK:ssä on laskentakaavat, joilla voidaan laskea raja-arvot räjähdemäärälle ja tilan ominaisuuksille, joilla kraatteria ei pääse muodostumaan. Jos kraatteri syntyy, kraatterin säde lasketaan myös räjähteen massan ja tilan ominaisuuksien perusteella.

#### 3.2.4.4.4 Tärinä

Maanalaisten varastojen osalta voidaan arvioida myös maankuoren tärinän voimakkuutta, joka riippuu räjähteiden massasta ja varaston geometriasta.

#### 3.2.4.4.5 Räjähdyksen etenemisreaktio

Maanalaisten varastojen kohdalla voidaan arvioida, voiko räjähdys aiheuttaa lisää räjähdymiä viereisissä kammioissa. AMRISK laskee maksimaalisen räjähteiden määrän, jolla räjähdys ei leviä viereiseen kammioon tai käytävälle, huomioiden etäisyyden räjähteiden välillä ja kammio/käytävä-rakenteen. Jos etenemisen riski on olemassa, AMRISK antaa varoituksen, mutta ei laske usean räjähdymyksen vaikutusta.

#### 3.2.4.5 Tappavuus (letaliteetti)

Tappavuus on kuolemaan johtavan fysikaalisen vaurion todennäköisyys. Tappavuutta voidaan pitää myös ihmisen sietokyvyn ylittävän fysikaalisen vaikutuksen todennäköisyytenä. Tappavuutta arvioidaan tietyissä valituissa pisteissä erikseen vapaassa tilassa tai erilaisissa rakennuksissa kohdattujen painevaikutusten, sirpaleiden/heitteiden sekä maata pitkin tulevan painevaikutuksen näkökulmista.

Tappavuuden laskennassa hyödynnetään funktiota

$$z(v) = A \ln(v) + B,$$

missä  $A$  ja  $B$  ovat tarkasteltavaan fysikaaliseen vaikutukseen liittyviä vakioita, ja  $v$  on fysikaalisen vaikutuksen, kuten paineen tai dynaamisen impulssin, arvo. Tappavuus lasketaan tämän funktion avulla olettamalla, että  $z$  noudattaa standardisoitua normaalijakaumaa. Tappavuuden kaava on yksikertaisimmassa muodossa

$$\lambda = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} (b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5),$$

kun  $z > 0$ ,  $b_i$ :t ovat vakioita ja

$$t = \frac{1}{1+p|z|},$$

missä  $p$  on vakio. Joillekin vaikutuksille, kuten sirpaleille/heitteille, kaavaan tulee lisätermejä.

Kokonaistappavuus lasketaan eri vaikutusten yli olettaen, että eri vaikutusten tappavuudet ovat toisistaan riippumattomia.

Tappavuutta voidaan arvioida myös erilaisissa kohdemuodoissa, esimerkiksi junassa, jakamalla kohde osiin, joille tappavuudet lasketaan erikseen. Lopuksi tällaiselle kohteelle lasketaan keskimääräinen tappavuus. Autoille tappavuus lasketaan huomioimalla keskimääräinen ajonopeus.

#### 3.2.4.6 Altistumisen analysointi

Altistumisanalyysissä lasketaan tietyissä kohteissa alttiina olevien ihmisten määrää eri ajan hetkinä. Ihmiset voivat sijaita tietyssä yksittäisessä pisteessä, olla jakautuneena jollekin linjalle, olla junassa, kulkea tietä pitkin tai olla halutulla tavalla jakautuneena tietyllä pinta-alalla, esim. henkilöä/km<sup>2</sup>. Autot ja junat ovat laskennallisia erikoistapauksia, joille on omat kaavansa.

#### 3.2.4.7 Riskimitat

AMRISKillä voidaan arvioida yksilön kuolemanriskiä tai kollektiivista riskiä. Yksilön riski kuvaa kuoleman todennäköisyyttä yksilölle, joka on eniten läsnä tarkasteltavassa kohteessa. Kollektiivinen riski kuvaa kuolemantapausten määrän odotusarvoa vuoden aikana valituissa kohteissa. Riskimitat lasketaan summaamalla kaikkiin alueen varastoihin liittyvät riskit ja kaikkiin erikseen analysoituihin aikaväleihin liittyvät riskit.

AMRISK pystyy laskemaan myös havaitun kollektiivisen riskin, joka korostaa suuria räjähdysonnettomuuksia. Tällöin käytetään torjuntakerrointa (aversion factor), joka riippuu kuolemien odotetusta määrästä tietyssä tilanteessa. Kerroin on  $2^{N/5}$ , kun kuolemien odotettu määrä  $N$  on korkeintaan 20. Suuremmille kuolemamäärille kerroin on 16.

#### 3.2.5 LambdaT

LambdaT on sveitsiläisten kehittämä työkalu räjähdyksestä lentävien sirpaleiden/heitteiden vaikutusten analysointiin (Kummer 2010). Sitä voidaan siis käyttää sirpaleista/heitteistä aiheutuvan kuoleman todennäköisyyden (tappavuuden) estimointiin riskianalyysin osana. Malli esitetään myös NATO-standardi AASTP-4 osassa 2 (Van der Voort 2019). Malli huomioi sirpaleiden/heitteiden määrän, massan, lentokulman ja energian, eri ihmisvartalon asennot, eri ruumiinosien alttiuden osumille, ja rakenteiden suojaavan vaikutuksen. Sirpaleiden/heitteiden lentomatkan laskenta ei ilmeisesti sisälly menetelmään, vaan altistusrakennukselle saapuvien sirpaleiden/heitteiden ominaisuudet ovat työkaluun syötettäviä tietoja.

Analyysi tehdään altistusrakennuksille huonekohtaisesti. Malli tosin rajoittuu geneeriseen kahden kerroksen ja neljän huoneen rakennukseen, mutta monimutkaisempiakin rakennuksia voidaan approksimoida. Yhden huoneen tilavuus jaetaan 40:een tarkastelupisteeseen niin, että myös ruumiinosien korkeus pystytään huomiomaan.

Analyysi etenee seuraavissa vaiheissa. Ennen analyysia sirpaleet/heitteet jaetaan ilmeisesti massaluokkiin, kuten IMESAFR:ssa.

1. Määritetään tarkasteltavat pisteet altistusrakennuksessa.
2. Määritetään rakennuksen suojaava vaikutus kullekin sirpaleiden/heitteiden massaluokalle. Jos rakennus ei pysäytä lentävää kappaletta, sille lasketaan jäljelle jäävä liike-energia.
3. Kullekin tarkastelupisteelle määritetään, kuinka rakennus suojaa sitä.
4. Kullekin sirpaleiden/heitteiden massaluokan, ruumiinosan ja laskentapisteen kombinaatiolle lasketaan tappavuus liike-energian perusteella.
5. Tappavuudet talletetaan tappavuusmatriisiin.
6. Kunkin vartaloasennon kokonaistappavuus kussakin sijainnissa lasketaan tappavuusmatriisin pohjalta.
7. Kunkin sijainnin keskimääräinen tappavuus lasketaan vartaloasentojen jakauman perusteella.
8. Huoneen keskimääräinen tappavuus lasketaan sen perusteella, kuinka suuren osan ajasta ihminen viipyy eri sijainneissa.

### 3.2.6 Explosive Quantitative Risk Analysis (EQRA)

Kvantitatiivinen räjähderriskianalyysityökalu EQRA on kehitetty kolmessa EU-projektissa mm. terroristiuhkien analysoimiseksi sekä kemian- ja prosessiteollisuuden tarpeisiin (Häring et al. 2019). Menetelmä soveltuu erityisesti kaupunkialueiden räjähderriskianalyysiin. Menetelmä koostuu seuraavista seitsemästä askeleesta:

1. **Skenaariomallinnus:** Potentiaaliset räjähdyskohteet, altistuskohteet, esteet, alueen geometria, räjähteet ja ihmiset määritetään. EQRA:lla pystytään mallintamaan monimutkaisia rakennusten sisäisiä ja ympäristön geometrioita.
2. **Hasardianalyysi:** Räjähdys ja räjähteistä lentävät sirpaleet mallinnetaan. Räjähdysaalto lasketaan laskennallisen virtausdynamiikan menetelmillä monimutkaisissa tapauksissa huomioiden kaikki ympäristössä olevat rakennukset. Yksinkertaisissa tapauksissa käytetään yksinkertaistettua Kingery-Bulmash puolipallo-räjähdys-yhtälöä. Sirpaleille määritetään matriisi, jossa sirpaleet luokitellaan massan, alkunopeuden ja lentokulman mukaan. Sirpaleille lasketaan edustavat lentoradat matriisin pohjalta huomioiden painovoima, ilmanvastus, rakenteet ja esteet. Rakennuksesta tai maasta lentäviä heitteitä, lämpövaikutuksia ja kraatteria ei analysoida, koska näillä on pieni vaikutus riskiin, kun välimatkat ovat pitkiä.
3. **Seuraus- ja vaurioanalyysi:** Ihmisille aiheutuvat seuraukset lasketaan probittifunktioilla. Analysoitavia räjähdysaallon vaikutuksia ovat keuhkon repeämä, tärykalvon repeämä, rakennuksen romahtaminen ja ikkunoiden hajoaminen. Lentäville sirpaleille lasketaan todennäköisyys, että sirpale osuu ihmiseen, sirpaleiden lentoratojen ja ihmisen keskimääräisen pinta-alan perusteella. Osuman tappavuus lasketaan sirpaleen liike-energian mukaan.
4. **Tapahtumataajuudet ja altistukset:** Tapahtumataajuuksien määrittämisessä hyödynnetään historiallista dataa ja asiantuntija-arvioita. Ihmisten altistuminen lasketaan ihmisryhmille eri kohteissa vuosittaisen läsnäolon perusteella.

5. **Riski- ja resilienssianalyysi:** Laskettavat riskimitat ovat erilaisia variaatioita yksilön riskistä ja ryhmän riskistä. EQRA:ssa voidaan tarkastella sekä kuolemia että loukkaantumisia. EQRA laskee myös Farmerin käyriä, jotka esittävät, millä taajuudella ylitetään tietty kuolemien/loukkaantumisten määrä.
6. **Riskin ja resilienssin visualisointi, vertailu ja arviointi**
7. **Skenaarion hyväksyminen tai parannus:** Jos riski ei ole hyväksyttävällä tasolla, tehdään riskiä alentavia toimenpiteitä ja siirrytään takaisin askeleeseen 1. Riskiä ja resilienssiä seurataan säännöllisesti.

### 3.2.7 Puolustusvoimien menetelmä

Puolustusvoimissa on kehitetty menetelmä varastoluoliin sijoitettujen räjähteiden riskien arvioimiseksi. Menetelmä perustuu suurelta osin AMRISK:n menetelmiin ja NATO:n standardeissa AASTP-1 ja AASTP-4 esitettyihin menetelmiin. Menetelmä jakautuu tyypilliseen tapaan tapahtuman todennäköisyyden, fyysikaalisten vaikutusten, tappavuuden ja altistumisen määrittäviin vaiheisiin.

Altistuskohteet on määritelty pitkälti samoin kuin AMRISK:ssa (osio 3.2.4.2). Kohteet voivat olla ympyrän muotoisia alueita, pistejoukon määrittämiä alueita tai viivamaisia.

Tapahtuman todennäköisyys lasketaan samalla kaavalla kuin AMRISK:ssa (osio 3.2.4.3).

Tarkasteltavia vaikutuksia ovat paine ja impulssi, heitteet ja tärinä. Räjähdysaalto ja heitteet voivat levitä sekä luolan suuaukolta että kraatterista, ja molemmat huomioidaan menetelmässä.

Paine ja impulssi luolan suuaukolla lasketaan NATO:n standardeihin pohjautuvalla menetelmällä. Paine ja impulssi altistuskohteessa lasketaan AMRISK:n kaavoilla.

Luolan suuaukolta lentävien heitteiden tiheys altistuskohteessa lasketaan räjähteiden määrän, etäisyyden, kulman, suuaukon halkaisijan, suuaukkoa edeltävän käytävän pituuden ja suuaukkojen määrän perusteella.

Kraatterin muodostumista tarkastellaan samalla tavalla kuin AMRISK:ssa (osio 3.2.4.4.3). Kraatterista purkautuvaa painetta lasketaan myös AMRISK:n kaavoilla. Kraatterista lentävien heitteiden tiheys altistuskohhteessa riippuu räjähdehallin tilavuudesta, räjähteiden määrästä, kallion paksuudesta ja laadusta, kallion pinnan kaltevuudesta, etäisyydestä ja suunnasta.

Tärintä analysoidaan laskemalla 'skaalattu etäisyys' räjähteiden massan, luolan geometrian ja etäisyyden perusteella. AMRISK:iin verrattuna laskentaan on lisätty termejä, joilla huomioidaan maaperän tyyppi.

Paineen ja impulssin tappavuus lasketaan AMRISK:n kaavoilla (osio 3.2.4.5). Heitteiden ja tärinän tappavuus lasketaan AASTP-4 standardin osassa 2 esitetyillä kaavoilla.

Altistuskohteille, jotka eivät ole pistemäisiä, lasketaan tappavuus valituissa tasavälisissä pisteissä, ja näistä tappavuuksista lasketaan keskiarvo, jota käytetään riskin laskennassa.

Altistumista analysoidaan ihmistyypeittäin: täysin ulkopuolinen, epäsuorasti mukana räjähdetyössä ja mukana räjähdetyössä. Rakennuksille määritetään henkilömäärän keskiarvo ja suhteellinen paikallaolo vuoden aikana. Kulkuvälineiden altistus määritetään liikennetiheyden, nopeusrajoitusten ja kulkuvälineen keskimääräisen henkilöiden lukumäärän perusteella. Henkilöiden suurin mahdollinen määrä altistuskohteessa määritetään myös.

Yksilön riski ja ryhmän riski määritellään ja lasketaan samalla tavalla kuin AMRISK:ssa (osio 3.2.4.7). Lisäksi ryhmän riskille lasketaan pahin tapaus, jossa altistuskohteissa on maksimimäärä ihmisiä räjähdysten sattuessa. Yksittäisten räjähdysten lisäksi riskimitat lasketaan tapaukselle, jossa luolan kaikissa räjähdeshalleissa tapahtuu räjähdys ketjureaktion takia. Tällöin oletetaan, että räjähdysten välillä on viive.

Menetelmä on yleisesti ottaen samankaltainen AMRISK:n kanssa. Joillain osa-alueilla löytyy muita menetelmiä, joiden laskenta on yksityiskohtaisempaa. Tappavuutta ei lasketa eri kuolonmekanismeille (keuhkon repeämä, kallon murtuma, jne.) kuten SAFER/IMESAFR:ssa, vaan se määritetään suoraan fysikaalisista suureista, kuten paineesta tai heitteiden tiheydestä, probittifunktion avulla. Heitteitä analysoidaan huomattavasti karkeammin kuin SAFER/IMESAFR:ssa, LambdaT:ssä ja EQRA:ssa. Heitteiden lentoratoja ja liike-energioita ei määritetä, eikä esteiden vaikutusta huomioida. Karkeammassa menetelmässä on omat etunsa, kuten pienempi määrä lähtötietoja. Liike-energiat ovat tyypillisesti niin suuria, että heitteet ovat käytännössä tappavia, joten niiden laskennalle ei välttämättä ole tarvetta.

Räjähdysaallon laskenta suoritetaan yksikertaisella tavalla, eikä käyttäen laskennallisen virtausdynamiikan menetelmiä, kuten EQRA:ssa. Yksinkertainen laskenta on kuitenkin tavallisesti riittävän tarkkaa, jos altistuskohteen edessä ei ole merkittäviä esteitä. Laskennallisen virtausdynamiikan menetelmät ovat laskennallisesti hyvin raskaita, joten niitä ei turhaan kannata soveltaa.

### 3.3 Menetelmien vertailu

#### 3.3.1 Siviilipuolen menetelmien vertailu sotilaspuolen menetelmiin

Siviilipuolella ja sotilaspuolella käytettävät menetelmät ovat päällisin puolin samanlaisia, sillä molemmilla puolilla lasketaan samoja riskimittoja ja esimerkiksi analysoitavat räjähdysten vaikutukset ovat samoja. Erot analyyseissä liittyvät lähinnä sovelluskohteiden eroihin. Käytettävät räjähteet, niihin liittyvä toiminta, ja tarkasteltavat kohteet ja alueet ovat osin erilaisia (Tatom 2007). Tämän takia myös käytettävien laskentamallien yksityiskohdat tai parametrit eroavat toisistaan siltä osin, kuin sovelluskohteet ovat erilaisia. Sovelluskohteiden erot aiheuttavat mm. seuraavanlaisia eroja laskentamalleihin (Tatom 2007):

- Kunkin räjähdysrakennustyyppin vaimentava vaikutus sekä rakennuksesta lentävät heitteet vaativat omat mallinsa. Siviilipuolella on käytössä enemmän eri tyyppisiä rakennuksia.
- Kukin räjähdetyyppi täytyy huomioida erikseen räjähdysten todennäköisyyden määrittämisessä, räjähdysten voimakkuuden määrittämisessä ja lentävien sirpaleiden laskennassa.
- Kukin maaperätyyppi vaatii oman mallinsa heitteiden laskennassa. Siviilipuolella räjähdysrakennuksia on useammilla erilaisilla maaperillä.
- Siviilipuolella on erityyppisiä ja eri tavalla sijoiteltuja esteitä räjähdysrakennusten ja altistuskohteiden välillä, kun taas sotilaspuolella on tiukemmat vaatimukset esteiden suhteen. Esteiden vaimenta vaikutus täytyy mallintaa, sijainti huomioiden.
- Kukin räjähdystoiminnan tyyppi täytyy huomioida erikseen räjähdysten todennäköisyyden määrittämisessä.

#### 3.3.2 Menetelmien yhteensopivuus NATO-standardi AASTP-4:n kuvaaman menettelyn kanssa

NATO-standardi AASTP-4:stä projektiryhmän saatavilla on ollut vain osa 1 (NATO 2016), joka mm. antaa yleiskatsauksen räjähdysriskianalyysiin, sekä joitakin esityskalvoja varsinaiset analyysimenetelmät sisältävästä osasta 2 (Van der Voort 2019). Osa 2 sisältää eri maissa käytetyt sotilaspuolen menetelmät mukaan lukien AMRISK:n ja SAFER:n. Standardi ei ota kantaa, mitä esitetyistä menetelmistä analyyseissa tulisi käyttää.



EQRA (Häring et al. 2019) keskittyy räjähdysaallon ja räjähteistä lentävien sirpaleiden analysointiin, eikä huomioi muita AASTP-4:ssä mainittuja fysikaalisia vaikutuksia, kuten rakenteista ja maasta lentäviä heitteitä, lämpövaikutuksia ja tärinää. Perusteena tälle on, että muilla vaikutuksilla on vähän merkitystä pitkillä etäisyyksillä. EQRA:ssa ei ilmeisesti myöskään huomioida kallonmurtumaa, tai että ihminen voisi lentää räjähdysaallon seurauksena maahan tai objektia päin. EQRA on kuitenkin ainoa tarkastelluista menetelmistä, jonka räjähdysaallon laskenta perustuu laskennalliseen virtausdynamiikkaan, joka mainitaan AASTP-4:n osaan 2 liittyvillä kalvoilla (Van der Voort 2019) tarkempana menetelmänä.

## 4 Räjähdekohteiden kvantitatiiviset riskitasot ja riskitasoihin liittyvä lainsäädäntö

Räjähdekohteiden kvantitatiivisia riskitasoja ja niiden taustalla olevaa lainsäädäntöä selvitettiin Norjan ja Ruotsin osalta. Lähteinä käytettiin näiden maiden säädössivustoja <https://lovdata.no/> (Norja) ja <https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/> (Ruotsi).

Alkuperäisten säädöstekstien kääntämisessä suomen kielelle käytettiin apuna Google Translate -konekäännöspalvelua. Tavoitteena oli saada alkuperäiskielen säädösteksti ymmärrettävälle suomen kielelle sillä tarkkuudella kuin hankkeen kannalta oli tarkoituksenmukaista. Käännöstekstejä ei hiottu juridisten ilmaisujen, sanamuotojen ja termien osalta, joten niissä on puutteita ja epätarkkuuksia. Säädösten osalta linkki alkuperäiseen tekstiin on mainittu (syyskuussa 2020 voimassa ollut linkki).

Säädöksistä on referoitu niitä osia, joiden on katsottu liittyvän hyväksyttävään riskitasoon ja sen määrittelyyn.

### 4.1 Norjan siviiliräjähdekohteisiin liittyvät säädökset

Norjan siviiliräjähdekohteita koskevat tärkeimmät säädökset (kuva 1) on mainittu norjankielisessä julkaisussa *Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer*<sup>1</sup>. Julkaisussa mainittu asetus vaikutusten arvioinnista (*Forskrift om konsekvensutredninger*<sup>2</sup>) on kumottu. Kyseisessä julkaisussa käsitellään myös hyväksyttävän riskin kriteereitä.



Kuva 1. Norjan siviiliräjähdekohteita koskevat tärkeimmät säädökset.

<sup>1</sup> <https://www.dsb.no/rapporter-og-evalueringer/sikkerheten-rundt-anlegg-som-handterer-brannfarlige-reaksjonsfarlige-trykksatte-og-eksplosjonsfarlige-stoffer/>

<sup>2</sup> <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2009-06-26-855>

#### 4.1.1 Palo- ja räjähdysuojalaki, Brann- og eksplosjonsvernloven<sup>3</sup>

*§1: Lain tarkoituksena on suojata elämää, terveyttä, ympäristöä ja aineellisia arvoja tulipaloilta ja räjähdyksiltä, vaarallisten aineiden ja vaarallisten hyödykkeiden aiheuttamilta onnettomuuksilta ja muilta akuuteilta onnettomuuksilta sekä ei-toivotuilta tahallisilta tapahtumilta.*

*§20: Yritysten velvollisuutena on varmistaa, että kaikki vaarallisten aineiden käsittely tapahtuu siten, että ihmiset, ympäristö ja ympäristö turvataan tyydyttävästi. Riski on alennettava tasolle, joka voidaan kohtuudella saavuttaa.*

*Riittävä turvallisuustaso on vahvistettava liiketaloudellisilla, teknisillä ja organisatorisilla toimenpiteillä mahdollisesti yhdessä alueen rajoitusten kanssa ja dokumentoitava keskusvalvontaviranomaiselle. Aluerajoitukset määritetään suunnittelu- ja rakennuslain määräysten mukaisesti. Ennen pinta-alarajojen määrittämistä on saatava keskusvalvontaviranomaiselta lausunto.*

*Ministeriö voi antaa säännöksiä hyväksyttävän riskin tasoista ja perusteista.*

#### 4.1.2 Suunnittelu- ja rakennuslaki, Plan- og bygningsloven<sup>4</sup>

*Suunnittelu- ja rakennuslaki määrittelee, miten maan alueita käytetään ja säännellään. Alueiden suunnittelu on tärkeää alueiden tehokkaalle ja järkevälle käytölle. Rakennustapausten käsittelyä koskevilla säännöillä on varmistettava rakennustöiden asianmukainen suorittaminen ja valvonta. Laki asettaa rakennusten materiaalivaatimukset ja antaa valtuudet rakennusteknisille määräyksille.*

*Lakia sovelletaan kaikenlaisiin kiinteistöihin liittyviin toimintoihin ja yrityksiin. Se koskee koko maata ja kaikkia "toimenpiteitä". "Toimenpiteillä" tarkoitetaan laissa seuraavia: "rakentaminen, purkaminen, muuttaminen, mukaan lukien julkisivujen muuttaminen, muutettu käyttö ja muut rakenteisiin ja rakennuksiin liittyvät toimenpiteet sekä maaston tunkeutuminen ja omaisuuden luominen ja muuttaminen". "Toimenpiteisiin" sisältyy myös muita toimia ja maankäytön muutoksia, jotka ovat ristiriidassa sen kanssa, mikä on päätetty maankäytöstä, suunnittelusta ja huomiovyöhykkeistä.*

#### 4.1.3 Suuronnettomuusasetus, Storulykkeforskriften<sup>5</sup>

*§1: Määräysten tarkoituksena on estää vaarallisten kemikaalien aiheuttamat suuronnettomuudet ja rajoittaa seurauksia, joita tällaisilla onnettomuuksilla voi olla ihmisille, ympäristölle ja aineellisille arvoille.*

*§2: Määräyksiä sovelletaan 3 §: ssä määriteltäviin suuronnettomuusvaaralliseen toimintaan.*

*§3: Suuronnettomuus: yhden tai useamman vaarallisen kemikaalin vaaratilanne, joka tapahtuu suuronnettomuuden yhteydessä ja joka kehittyy hallitsemattomasti ja joka välittömästi tai myöhemmin aiheuttaa vakavan vaaran ihmisille, ympäristölle tai aineellisille arvoille.*

*Säädöksellä pannaan toimeen Seveso-direktiivin vaatimukset. **Määräykset eivät koske sotilasalan toimintoja, mukaan lukien tilat ja varastot.***

<sup>3</sup> <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2002-06-14-20/>

<sup>4</sup> [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71/)

<sup>5</sup> <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-06-03-569>

#### 4.1.4 Siviiliräjähteiden käsittelyä koskeva asetus, Explosivforskriften<sup>6</sup>

§1: Määräysten on estettävä räjähteiden käsittelyyn liittyvät onnettomuudet ja ei-toivotut tapaukset. Määräysten on myös estettävä aineiden katoaminen tai joutuminen väärin käsiin.

§2: *Soveltamisala:*

(1) Määräyksiä sovelletaan kaikkiin räjähteiden siviilikäsittelyyn, siviiliräjähteiden teknisiin vaatimuksiin, teknisiä valvontaelimiä koskeviin vaatimuksiin ja markkinaosapuolia koskeviin vaatimuksiin.

(2) Määräyksiä sovelletaan räjähteiden valmistukseen käytettävien ammoniumnitraattia sisältävien aineiden tai ainesosien varastointiin käyttöpaikassa ja räjähteiden valmistukseen, kun näitä aineita käytetään.

(3) Ammusten tuotantoon ja varastointiin sovelletaan 1 ja 2 luvun säännöksiä, ja lisäksi 3 lukua sovelletaan ampumatarvikkeiden valmistukseen yrityksissä. Määräysten muita säännöksiä sovelletaan ampumatarvikkeisiin, jos ne ilmenevät suoraan säännöksistä.

(4) Määräyksiä sovelletaan räjähteiden lastaamiseen, purkamiseen ja paikalliseen varastointiin laiturilla tai sisävesillä ankkuroituina norjalaisissa aluksissa.

(5) Pyroteknisiä tuotteita koskevat säännökset, joihin säännellään pyroteknisiä tuotteita, on vapautettu määräyksistä.

**§3: Määräyksiä ei sovelleta asevoimien räjähteiden käsittelyyn.**

§37: *Huoneen, rakennuksen tai laitoksen sijaintivaatimukset*

a) Huoneet, rakennukset tai tilat räjähteiden varastoisiksi on sijoitettava ja suunniteltava siten, että mahdollisen tulipalon tai räjähdysen todennäköisyys ja seuraukset on rajoitettu.

b) Varastointilupaa hakevan on todistettava, että kohdassa a) asetettu vaatimus täyttyy. Asiakirjat voidaan tehdä osoittamalla, että kohdassa c) mainitut suojaetäisyydet täyttyvät tai riskianalyysillä, jossa tuloksia verrataan valvontaviranomaisten määrittelemiin hyväksymisperusteisiin.

c) Suojaetäisyydet lasketaan kaavasta  $D = k * Q^n$ , jossa:

$D$  = Suojaetäisyys metreinä

$k$  = vakio, joka riippuu räjähtävän tuotteen ominaisuuksista ja altistuneen esineen tyypistä

$Q$  = räjähteen nettomäärä kilogrammoina

$n$  = tekijä, joka riippuu räjähteen ominaisuuksista.

Sirpaleista ja heitteistä johtuen suojaetäisyys ei saa olla pienempi kuin kyseisessä tilanteessa määritetty vähimmäisetäisyys -  $D_{min}$ , paitsi jos riskianalyysi osoittaa, että pienempi etäisyys on hyväksytävä. Tämä etäisyys riippuu räjähteen tyypistä ja altistuvasta kohteesta.

#### 4.1.5 DSB<sup>7</sup>:n opas räjähteiden käsittelystä

<sup>6</sup> <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-15-844>

<sup>7</sup> DSB = Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, yhteiskunnan turvallisuus- ja valmiusvirasto, englanniksi The Norwegian Directorate for Civil Protection.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) on laatinut v. 2005 julkaistun oppaan räjähteiden käsittelystä. Opas on vapaasti saatavissa norjankielisenä versiona osoitteesta <http://www.austin.no/media/4/veiledning-kap7.pdf> . Seuraavassa esitetyt tekstit on konekäännetty Google Translatorilla 27.8.2020 ja käännös on oikoluettu VTT:n tutkijoiden toimesta.

#### 4.1.5.1 Yleistä riskianalyysistä

Suojaetäisyyssuoritusluokkien sijaan voidaan käyttää riskianalyysiä suojaetäisyyksien määrittämiseen, jos analyysin katsotaan tarjoavan paremman perustan päätöksenteolle. Varastointiin liittyvät riskit ja niistä aiheutuvat kustannukset on arvioitava liiketoiminnan vaihtoehtoisia toimintatapoja määritettäessä.

DSB voi myöntää säilytysluvan suoritettuna riskianalyysin perusteella, jos määritetty riski on DSB:n asettamien hyväksymiskriteerien puitteissa.

Pysyvien varastojen osalta vaaditaan laaja riskianalyysi, kun taas tilapäisille, tiettyyn tarkoitukseen käytettäville varastoille voidaan yleensä hyväksyä suppea analyysi. Analyysit tulisi suorittaa standardin NS 5814<sup>8</sup> ”Riskinarviointia koskevat vaatimukset” mukaisesti.

#### 4.1.5.2 Suppean riskianalyysin sisältö

Suppean riskianalyysin tulisi sisältää ainakin:

- Mahdolliset tapahtumat, jotka voivat johtaa varaston räjähtämiseen.
- Mahdolliset tapahtumien syyt ja todennäköisyyden arviointi.
- Varaston räjähdysvaikutukset.

Erityistä huomiota on kiinnitettävä varastoräjähdysvaikutusten vakavuuden ja tapahtuman todennäköisyyttä vähentävien toimenpiteiden dokumentointiin.

Lisävaatimuksia ja esimerkkejä suppeasta analyysistä on mahdollista saada DSB:ltä. Viranomaisen päättää, onko mahdollista antaa lupa varastoinnille suppean analyysin perusteella vai vaaditaanko laaja analyysi.

#### 4.1.5.3 Laajan riskianalyysin sisältö

Riskianalyysi on esitettävä niin, että siinä esitetyt asiat voidaan tarvittaessa todentaa ja sen on sisällettävä vähintään seuraavat seikat:

- Räjähteiden nettomäärä jokaisesta vaarallisuusluokasta
- Yksityiskohtaiset piirustukset varastorakennuksesta (poikkileikkaus- ja pohjapiirrokset) sekä rakennusmateriaalit
- Räjähdysvaikutusten todennäköisyys varastossa
- Aluekartta vähintään 55 Q<sup>1/3</sup> metrin säteeltä varaston ympäriltä
- Karttaa on merkittävä kaikki rakennukset, tiet, retkeily- / hiihtoreitit, urheilukentät ja paikat, joissa ihmiset oleskelevat
- Suurin mittakaava on 1:5000
- Kutakin rakennusta / tietä / polkua jne. käyttävien ihmisten määrä on ilmoitettava
- Ihmisten läsnäoloaika eri rakennuksissa (% vuodessa)

<sup>8</sup> <https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/kvalitet-og-risiko/2013/risikovurderinger---ns-5814/>

- Tiestöstä on ilmoitettava liikennemäärät ympäri vuoden
- Kuinka pitkä varaston arvioitu käyttöaika on
- Laskennallinen henkilökohtainen riski
- Laskennallinen ryhmäriski.

Kansallisesti tärkeät voimalaitokset / laitokset, historialliset rakennukset tai heikkokuntoiset rauniot ovat kohteita, joihin on kiinnitettävä erityistä huomiota.

#### 4.1.5.4 Eri varastotyyppien räjähdys todennäköisyys / vuosi

Varaston räjähtämisen todennäköisyys lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$p = A + B * Q, \text{ jossa}$$

$$p = \text{räjähdys todennäköisyys/vuosi}$$

$$A = \text{räjähdys todennäköisyys varastotyyppistä riippuen ja varastoidusta määrästä riippumatta}$$

$$B = 1,5 * 10^{-10} = \text{kerroin varastoidusta määrästä riippuen, kg}$$

$$Q = \text{varastoitu määrä kilogrammoina}$$

Varaston tyyppi	Määrästä riippumaton räjähdys todennäköisyys (A)
Teräsbetoni	$5 * 10^{-5}$
Betonibunkkeri (Betongiglo)	$1,5 * 10^{-5}$
Luola (Fjell-lager)	$1 * 10^{-6}$
Maapeitteinen varasto? (Nisjelager)	$1,5 * 10^{-4}$
Teräskontti	$1,5 * 10^{-4}$

Edellä esitetyt arvot ovat ohjeellisia. Jos käytetään muita arvoja, niiden laskentaperiaatteet on dokumentoitava.

#### 4.1.5.5 Seuraukset ja todennäköisyys, jos varaston sisältö räjähtää

Tietoja asuinrakennuksissa, autoissa ja ulkona olevien ihmisten kuoleman todennäköisyydestä saa DSB: ltä.

Tieliikenteessä keskimääräinen kuolleisuus on laskettava tien eri kohdissa.

#### 4.1.5.6 Läsnaölo

Kerroin, joka kertoo kuinka suuren osan ajasta (% vuodessa) henkilö altistuu mahdollisen onnettomuuden vaikutukselle.

Keskimääräistä altistumisaikaa käytetään ryhmäriskin määrittämiseen ja maksimialtistumisaikaa yksilöllisen riskin laskemiseen.

Autoliikenteessä altistumisaika lasketaan ympärivuotisten liikennemäärien perusteella ja voimassa olevan nopeusrajoituksen mukaan. Jokaisessa autossa oletetaan olevan keskimäärin 1,5 henkilöä.

#### 4.1.5.7 Henkilöriskin luokat

Riskinarvioinnissa jaetaan ihmiset 1., 2. ja 3. luokkaan sen mukaan, millainen yhteys henkilöllä on varastoon:

- 1. luokka: Henkilöt, jotka osallistuvat suoraan räjähteiden käsittelyyn ja valvontaan.
- 2. luokka: Henkilöt, jotka työskentelevät yrityksessä, joka varastoi räjähteitä, ja jotka toimivat osana yrityksen liiketoimintaa.
- 3. luokka: Henkilöt, joilla ei ole yhteyttä räjähdysaineita käsittelevään yritykseen.

#### 4.1.5.8 Hyväksymiskriteerit

Päätöksenteossa käytettävän DSB:n asettamien hyväksymiskriteerien raja-arvot ovat seuraavat:

Henkilökohtainen kuolemanriski / vuosi:

1. luokka:  $4 \cdot 10^{-5}$  (onnettomuuden todennäköisyys \* kuoleman todennäköisyys)
2. luokka:  $3 \cdot 10^{-6}$  (onnettomuuden todennäköisyys \* kuoleman todennäköisyys)
3. luokka:  $2 \cdot 10^{-7}$  (onnettomuuden todennäköisyys \* kuoleman todennäköisyys)

Ryhmäriski / vuosi:

3. luokka:  $1 \cdot 10^{-4}$  (onnettomuuden todennäköisyys \* arvioitu 3-luokan kuolemantapausten lukumäärä \* torjuntakerroin<sup>9</sup>)
2. ja 3. luokka:  $2 \cdot 10^{-4}$  (onnettomuuden todennäköisyys \* toisen ja kolmannen luokan arvioitu kuolemantapausten lukumäärä \* torjuntakerroin)
- 1., 2. ja 3. luokka:  $3 \cdot 10^{-4}$  (onnettomuuden todennäköisyys \* arvioitu kuolemantapausten kokonaismäärä \* torjuntakerroin)

## 4.2 Norjan sotilasräjähdekohteisiin liittyvät säädökset

NATO -standardin AASTP-4 "Explosives safety risk analysis Part 1: Guidelines for risk based decisions" liitteessä A on lyhyesti esitetty Norjan määräyksiä räjähdetarastojen sijoittamisesta ja maankäytöstä varastojen lähialueilla. Tiedot ovat vuodelta 2015. Norjan osalta liitteessä esitetään kuusi mittaria, jotka ovat samat kuin luvussa 4.1.5.8 esitetyt. Liitteessä todetaan myös, että sama menettely ja raja-arvot ovat käytössä Norjassa sekä siviili- että sotilaspuolella.

<sup>9</sup> Torjuntakerroin (aversjonsfaktor):

Kerroin ( $\phi$ ), jossa otetaan huomioon, miten yhteiskunta reagoi räjähdysvaraston onnettomuuteen sen laajuuden perusteella. Torjuntakerroin asetetaan yhtä suureksi kuin kuolemantapausten määrän toinen potenssi ( $f_n^2$ ) tilanteissa, joissa odotettu kuolemantapausten määrä on suurempi kuin 1. Tilanteissa, joissa odotettu kuolonuhrien määrä on alle 1, torjuntakerroin lasketaan kaavalla  $\phi = 2^{(f_n/5)}$  (<https://www.dsb.no/lover/farlige-stoffer/veiledning-til-forskrift/oppbevaring-av-eksplosiver-veiledning-til-kapittel-5/#innledning>).

Norjan sotilasräjähdekohteisiin liittyvistä säädöksistä ja niiden eroista verrattuna siviilipuolen säädöksiin pyydettiin lisätietoja sähköpostitse norjalaiselta sotilaspuolen asiantuntijalta (Norjan puolustusvoimien logistiikka-organisaatio). Häneltä (15.10.2020) saatu vastaus on pääpiirteittäin esitetty seuraavassa:

*”Uuden lainsäädännön ja määräysten pääperiaate Norjassa on, että arvioiden pitää olla riskiperusteisia. Juristien ja teknisten asiantuntijoiden kirjoittamien tekstien välillä on kuitenkin jonkin verran eroja. Norjan puolustussektoria ohjaa laki, mutta tietyin poikkeuksin. Periaatteena on, että puolustussektorilla voidaan käyttää erilaisia työkaluja riskin arviointiin, mutta riskien ja turvallisuustason pitää olla yleisten lakien mukainen. Asiakirjojen hierarkia on seuraava: DOD-ohjeistus materiaalinhallinnasta (sisältäen ampumatarvikkeet), materiaalilaitoksen ohjeistus materiaalinhallinnasta ja joukko-osastojen säännökset. Siviilipuolen riskianalyysin vaatimukset on kuvattu säädöksissä ja sotilaspuolen vaatimukset erillisissä säännöissä. Sotilaspuolen säännöt on otettu STANAGista<sup>10</sup> ja ne ovat muuta ohjeistusta yksityiskohtaisempia.*

*Räjähdyriskin hyväksyttävyyden rajat ovat sekä sotilas- että siviilipuolella samat, joskin laskentakaava torjuntakerrointen osalta on hieman erilainen.*

*AMRISK-ohjelmisto ei sisällä hyväksyttävyysskriteerejä, mutta se tekee riskitasojen laskennan. Norja ja Ruotsi käyttävät samaa ohjelmistoa. Hyväksyttävyyden osalta maiden välillä on eroja ja ryhmäriskin osalta vertailuluvut ovat erilaisia.*

*AMRISK-ohjelmistoa on kehitetty todellisten räjähdystapausten avulla käyttäen takaisinlaskentaa. Saatuja tuloksia on verrattu muiden laskentatyökalujen tuloksiin (mm. EXPLORISK, SAFER). Mikäli seurausten laskentaa halutaan kehittää, Norja tuskin tekee sitä yksinään, parannukset ohjelmistoon kannattaa tehdä yhteistyössä muiden tahojen kanssa.*

*Ennusteen tarkkuus riippuu käytettävistä malleista ja syötettävästä datasta. Epävarmuutta on analysoitu yksityiskohtaisesti SAFERissa, mutta AMRISKissä vastaavaa ei ole tehty, koska se ei tunnu kannattavalta. Pääasiallinen seurausvaikutusten arvioinnin epävarmuus aiheutuu todennäköisimmin siitä, ettei ole varmuutta, kuinka suuri osa räjähteen kokonaismäärästä osallistuu itse räjähdystapahtumaan.*

*Ohjelmistotyökalujen tulisi olla parhaiden käytäntöjen mukaisia ja niiden tulisi käyttää parhaita ja luotettavimpia malleja. Päivittäminen on tärkeää ja se pitäisi malleihin tehdä vähintään 10-15 vuoden välein. Testaus on myös tärkeää, ja osallistuminen asiantuntijaryhmiin, joissa voidaan tehdä vertaisarviointeja, on välttämätöntä.”*

Norjalaiselta sotilaspuolen asiantuntijalta saatiin tutustuttavaksi myös Norjan puolustusvoimien ampumatarvikkeita koskevat säännöt (Reglement for Ammunisjonstjenesten - Fellesregler), jotka on saatettu voimaan 10.10.2017. Sääntödokumentin luvussa 4.1 kuvataan ampumatarvikkeiden hyväksyntää seuraavasti (käännös tehty konekäännöksenä 10.11.2020 (Google Translator) ja oikoluettu VTT:n tutkijoiden toimesta):

#### Yleistä

*Räjähdeviranomaisen on hyväksyttävä kirjallisesti ammustarvikkeet, räjähdevarastot aluksilla tai alueilla, joilla ampumatarvikkeita käsitellään pysyvästi, ennen kuin ampumatarvikkeita voidaan varastoida laitokseen. Hyväksyntä myönnetään 10 vuodeksi. Hyväksyntälomake on sijoitettava alueelle tai laitokseen, johon hyväksyntää sovelletaan. Varastosta vastaavan henkilön on haettava uutta lupaa viranomaiselta ennen nykyisen luvan voimassaolon päättymistä.*

<sup>10</sup> [Wikipedia](#): **Stanag** on vakiointisopimus (**Standardisation Agreement**), jolla yhdenmukaistetaan Naton käytössä olevia teknisiä normeja ja käytäntöjä jäsenvaltioiden puolustus- ja asevoimien yhteistoiminnan parantamiseksi.



Jos havaitaan muutoksia, jotka vaikuttavat hyväksynnän perusteeseen tai soveltamisalaan, varastosta vastaavan henkilön on viipymättä ilmoitettava asiasta viranomaiselle.

#### Hyväksynnän laajuus

Hyväksynnällä vahvistetaan, että ampumatarvikkeet on varastoitu turvallisesti suhteessa altistuviin kohteisiin.

#### Riskianalyysi

Ammusten pysyvää varastointia varten hyväksyttävyyks on osoitettava kvantitatiivisen riskianalyysin avulla. Tästä voidaan poiketa varastoitaessa pienempiä räjähdemääriä. Pienemmillä määrillä tarkoitetaan alle 65 kg räjähdysaineen nettomäärää vaarallisuusluokissa 1.2.2 ja 1.3.2 ja alle 2 500 kg vaarallisuusluokassa 1.4.

Räjähdeviranomaisen on hyväksyttävä ja dokumentoitava riskianalyysissä käytettävä menetelmä ja analyysityökalu. Menettelyjen riskinarvioinnissa voidaan käyttää myös laadullisia menetelmiä, mutta onnettomuuksien seuraukset on ilmoitettava arvioinnissa.

#### Ampumatarvikkeiden varastoinnin hyväksymisperusteet

Riskinarvioinnissa henkilöt jaetaan 1., 2. ja 3. luokkaan sen mukaan, mikä yhteys henkilöllä on potentiaaliseen räjähdyspaikkaan. Näihin säännöksiin liittyvässä riskianalyysissä jako on:

- 1. luokka: Henkilöt, jotka ovat suoraan mukana ampumatarvikkeiden käsittelyssä tai valvonnassa. Kyseessä ovat tyypillisesti räjähdysalueella pysyvästi työskentelevät henkilöt tai osaston ammuksia käyttävät henkilöt.
  - Yksilöriski:  $4 \cdot 10^{-5}$
  - Ryhmäriski:  $3 \cdot 10^{-4}$
- 2. luokka: Henkilöt, jotka työskentelevät puolustusosalalla, mutta joiden työ ei suoraan liity räjähteisiin liittyvään toimintaan.
  - Yksilöriski:  $3 \cdot 10^{-6}$
  - Ryhmäriski:  $2 \cdot 10^{-4}$
- 3. luokka: henkilöt, joilla ei ole yhteyttä puolustussektorin räjähteisiin liittyvään toimintaan.
  - Yksilöriski:  $2 \cdot 10^{-7}$
  - Ryhmän riski:  $1 \cdot 10^{-4}$

#### Poikkeukset:

Poikkeushakemus on jätettävä, kun

- a) määräysten, menettelyjen tai hyväksynnän edellytysten vaatimuksia ei voida noudattaa
- b) kolmansille osapuolille aiheutuva riski on suurempi kuin määritellyissä hyväksymiskriteereissä
- c) tapahtuma voi vahingoittaa tärkeitä resursseja tai laitteita

Poikkeukset olosuhteisiin, joissa määräysten tai menettelyjen vaatimuksia ei voida noudattaa

*Ampumatarvikkeiden luovuttaneen osaston on lähetettävä viranomaiselle hakemus, jossa on kuvaus säännöistä, joita ei voida noudattaa, tilanteen kesto ja riskejä vähentävät toimenpiteet, joita osasto itse voi toteuttaa.*

*Poikkeusta ei kuitenkaan voida myöntää, jos poikkeuslupa aiheuttaa siviilialueen (3. luokan henkilöt) hyväksymiskriteerien ylittävän riskin tai tärkeiden valmiuksien tai kohteiden tuhoutumisriskin. Viranomaisen voi tässä tapauksessa siirtää tapauksen puolustusministeriön käsiteltäväksi arvioineen ja suosituksineen. Suosituksissa on mainittava mahdolliset toimenpiteet riskin vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle ja mahdolliset toiminnan lopettamisesta aiheutuvat seuraukset.*

#### 4.2.1 Hyväksyttävän riskitason määrittäminen Norjassa

Norjalaiselta sotilaspuolen asiantuntijalta edellä mainitun sähköpostihaastattelun yhteydessä saadun tiedon mukaan yksilö- ja ryhmäriskin arvojen määräytyminen perustuu vuodelta 1983 olevaan Forsvarets forskningssinstitutt (FFI)- dokumenttiin ”Akseptabelt risikonivå i forbindelse med lagring av ammunisjon/ekslosiver i fors varetts lager” (FFI 1983). Sotilaspuolelta arvot ovat siirtyneet myös siviilipuolelle eli DSB:n kriteereiksi.

Mainitussa dokumentissa hyväksyttävä riskitaso määritellään seuraavilla perusteilla. Tarkastelun kohteena on kuolemisriski räjähdysuonnettomuudessa, ja riskiä tarkastellaan sekä yksilön että yhteiskunnan kannalta. Tarkasteltava yksilö on sellainen, joka asuu räjähdyskohteen lähellä tai oleskelee siellä säännöllisesti, muttei ole kohteessa töissä eikä ole sen toiminnasta vastuussa (eli on laitoksen toiminnan kannalta ulkopuolinen). Hänen kuolemisriskinsä räjähdysuonnettomuudessa saa kasvattaa hänen muista syistä johtuvaa kuolemisriskiään vain vähän. Muista syistä johtuvaa kuolemanriskiä edustamaan valitaan luonnonuhista (salama, maanvyöry, tulva) johtuva kuoleman todennäköisyys vuoden aikana. Se on ollut tuohon aikaan erään lähteen mukaan  $2 \cdot 10^{-6}$ . Lisäys arvioidaan vähäiseksi, jos kuolemanriski räjähdyksessä vuoden aikana on kymmenesosa tästä, eli  $2 \cdot 10^{-7}$ . Tämä riskitaso on AASTP-4 osa I:n (NATO 2016) mukaan edelleen käytössä kolmansien osapuolten - räjähdyskohteen ulkopuoliset - hyväksyttävänä riskitasona.

Hyväksyttävää yhteiskunnallista riskiä (samfunnsrisiko) arvioitaessa lähtökohtana on yleinen kuolinriski onnettomuuksissa ja tapaturmissa. Erilaisissa onnettomuuksissa (esim. työtapaturmat) kuoli 1893 norjalaista vuonna 1981. Jakamalla tämä Norjan tuolloisella väkimäärällä saadaan onnettomuuksista johtuvaksi kuolemanriskiksi  $4,65 \cdot 10^{-4}$ . Kustannus A (ilmeisesti räjähdyskohteessa tapahtuvan toiminnan rahallinen arvo) otetaan mittariksi, jota verrataan kaikkeen Norjassa tapahtuvan taloudellisen toiminnan arvoa B eli bruttokansantuotetta. Hyväksyttävä yhteiskuntariski määritetään lukuna  $4,65 \cdot 10^{-4} A/B$ . Kun tähän sijoitetaan A:lle arvo  $4 \cdot 10^8$  kruunua ja B:lle arvo  $240 \cdot 10^9$  kruunua, saadaan hyväksyttäväksi maksimiriskiksi (räjähdysuonnettomuuden todennäköisyydeksi vuodessa)  $8 \cdot 10^{-7}$ . Kun kuitenkin iso osa isosta onnettomuudesta koituvastariskistä kohdistuu laitoksen toiminnasta ulkopuolisiin, asetetaan hyväksyttäväksi riskitasoksi kymmenesosa tästä eli  $8 \cdot 10^{-8}$ . Myös vaihtoehtoisia tapoja laskea hyväksyttävä yhteiskunnallinen riskitaso esitetään, perustuen esim. työtapaturmissa kuolleiden (ja siis bruttokansantuotetta kasvattaessaan menehtyneiden) määrään koko väkiluvusta sekä liikenneonnettomuuksissa kuolleiden lasten lukumäärään (verrattuna lasten kokonaismäärään).

Ryhmäriskin hyväksyttävän tason asettamista ei dokumentissa tarkastella. AASTP-4 osa I:stä kuitenkin selviää, että ne on asetettu niin ensimmäisille osapuolille (räjähdyskohteen toimintaan suoraan osallistuvat eli räjähdyskohteessa työskentelevät), toisille osapuolille (epäsuorasti osallistuvat) että kolmansille osapuolille.

Dokumentista ilmenee että FFI on saanut hyväksyttävien riskitasojen määrittämisen osana toimeksiantoa, johon on kuulunut myös riskianalysimenetelmän määrittäminen varastoille sekä avustaminen toimenpiteiden priorisoinnissa. Toimeksiantaja on ollut Norjan puolustusministeriön ampumatarvikekomitea. Dokumentti ei sisällä tietoa siitä, kuka esitetyn hyväksyttävän riskitason on lopulta hyväksynyt. Nytemmin Norjassa on AASTP-4:n mukaan olemassa korkeimmat hyväksyttävät yksilöriskitasot myös ensimmäisille sekä toisille

osapuolille, ja ne ovat korkeammat kuin kolmannen osapuolen hyväksytyt yksilöriskitaso. Niitä ei ole määritetty tarkasteltavassa dokumentissa eivätkä niiden määrittelyperusteet ole tämän raportin kirjoittajien tiedossa.

#### 4.3 Ruotsin siviiliräjähdekohteisiin liittyvät säädökset

Luettelo Ruotsin säädöksistä koskien syttyviä ja räjähtäviä aineita (kuva ) löytyy Myndigheten för samhälls-kydd och beredskap (MSB) -sivustolta <https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/brandfarliga-och-explosiva-varor/>. Kuvassa 4 mainitulla lailla vakavien kemikaalionnettomuuksien estämisestä ja seurausten rajoittamisesta ja sen nojalla annetuilla asetuksilla toimeenpannaan osaltaan EU:n Seveso III direktiivin vaatimukset. Nämä vaatimukset koskevat myös räjähtäviksi luokiteltuja aineita.



Kuva 2. Ruotsin siviiliräjähdekohteisiin liittyvät säädökset.

Säädökset koskevat helposti syttyvien ja räjähtävien tuotteiden käsittelyä, siirtämistä ja maahantuontia. Säädösten tarkoituksena on estää ja rajoittaa onnettomuuksia sekä henkilö-, ympäristö- tai omaisuusvahinkoja, jotka voivat aiheutua syttyvien tai räjähtävien aineiden tulipalosta tai räjähdyksestä.

##### 4.3.1 Laki palovaarallisista ja räjähtävistä tuotteista, Lag om brandfarliga och explosiva varor (2010:1011)<sup>11</sup>

*1§: Lakia sovelletaan syttyvien ja räjähtävien tuotteiden käsittelyyn, siirtoon, tuontiin ja vientiin sekä toimenpiteisiin, jotka ovat tarpeen tulipalo- ja räjähdysriskin sekä tulipalon tai räjähdysten seurausten vuoksi.*

*Lain tarkoituksena on estää, ehkäistä ja rajoittaa palavien tai räjähtävien aineiden aiheuttamasta tulipalosta tai räjähdyksestä johtuvia onnettomuuksia sekä henkilö-, ympäristö- tai omaisuusvahinkoja. Laki koskee myös näiden aineiden luvatonta käsittelyä.*

*4§: Räjähävillä tuotteilla tarkoitetaan<sup>12</sup>*

- 1. räjähtäviä aineita ja seoksia;*
- 2. räjähtäviä esineitä ja*

<sup>11</sup> [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-20101011-om-brandfarliga-och-explosiva\\_sfs-2010-1011](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-20101011-om-brandfarliga-och-explosiva_sfs-2010-1011)

<sup>12</sup> Ks. määritelmä myös MSB föreskrifter om vilka varor som ska anses utgöra brandfarliga eller explosiva varor MSBFS 2010:4 <https://www.msb.se/siteassets/dokument/regler/rs/84efa9ee-324a-4ebc-913a-753b06e4bf0d.pdf>

3. *aineita, seoksia ja esineitä, jotka eivät ole 1 tai 2 kohtien mukaisia, mutta joiden tarkoituksena on tuottaa räjähdys- tai pyrotekninen vaikutus.*

*10 §: Rakennukset ja laitteistot, joissa käsitellään syttyviä tai räjähtäviä aineita on varustettava niin, että otetaan huomioon tulipalon ja räjähdysten vaarat sekä näistä aiheutuvat seuraukset. Rakennukset ja laitteistot on sijoitettava siten, että vastaavat vaatimukset ympäristön suhteen täyttyvät. Sama vaatimus koskee myös alueita, joilla on tällaisia rakennuksia, tiloja ja laitteita.*

*21 §: Viranomaiselle, joka käsittelee tämän lain mukaisia lupakysymyksiä, kuuluu toiminta-alallaan myös lain sekä sen yhteydessä annettujen asetusten ja päätösten noudattamisen valvonta.*

*Puolustusvoimat voi MSB:n suostumuksella valvoa syttyvien ja räjähtävien tuotteiden käsittelyä ja tuontia puolustusvoimissa, puolustusmateriaalihallinnossa, puolustusalan tutkimuskeskuksessa ja puolustusvoimien rakennuslaitoksessa.*

#### 4.3.2 Asetus palovaarallisista ja räjähtävistä tuotteista, Förordning om brandfarliga och explosiva varor (2010:1075)<sup>13</sup>

*13 §: Puolustusvoimat, puolustusmateriaalihallinto, puolustusalan tutkimuskeskus ja puolustusvoimien rakennuslaitos tarvitsevat luvan ainoastaan*

- räjähteiden valmistukseen*
- sellaiseen ampumatarvikkeiden käsittelyyn, joka riskin kannalta on verrattavissa valmistukseen*
- räjähteiden varastointiin kiinteissä paikoissa*
- syttyvien tuotteiden käsittelyyn, poikkeuksena kenttäharjoitukset.*

*25 §: Myndigheten för samhällskydd och beredskap (MSB) valtuutetaan antamaan määräyksiä palo- ja räjähdysvaarallisiin tuotteisiin liittyen.*

*26 §: Puolustusvoimat voi, kuultuaan MSB:tä, antaa määräyksiä:*

- 1. Syttyvien ja räjähtävien tuotteiden käsittelystä omalla alueellaan, puolustusmateriaalihallinnon, puolustusalan tutkimuskeskuksen ja puolustusvoimien rakennuslaitoksen alueella, ja*
- 2. Poiketa lain (2010: 1011) ja sen nojalla annettujen asetusten soveltamisesta kenttäharjoitusten, kohonneen valmistautumistason ja maan turvallisuudelle erityisen tärkeiden syiden vuoksi.*

#### 4.3.3 Laki vakavien kemikaalionnettomuuksien estämisestä ja seurausten rajoittamisesta, Lag om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor (1999:381)<sup>14</sup>

Lain tarkoituksena on estää vakavat kemikaalionnettomuudet ja rajoittaa tällaisten onnettomuuksien seurauksia ihmisten terveydelle ja ympäristölle. Lailla ja sen nojalla annetuilla asetuksilla ja määräyksillä toimeenpannaan Seveso III -direktiivin vaatimukset (lakia on viimeksi päivitetty 23.4 2015).

Lain 4§ luetelmakohtaan 5 mukaisesti laki ei koske sotilaallista toimintaa.

<sup>13</sup> [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-20101075-om-brandfarliga-och\\_sfs-2010-1075](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-20101075-om-brandfarliga-och_sfs-2010-1075)

<sup>14</sup> [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1999381-om-atgarder-for-att-forebygga-och\\_sfs-1999-381](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1999381-om-atgarder-for-att-forebygga-och_sfs-1999-381)

Lain nojalla annettu asetus (Förordning 2015:236)<sup>15</sup> sisältää säännöksiä lain (1999:381) täytäntöönpanosta.

MSB määräykset (MSBFS 2015:8) vakavien kemikaalionnettomuuksien estämisestä ja seurausten rajoittamisesta (MSB föreskrifter om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor)<sup>16</sup> käsittelee pelastussuunnittelua, yleisölle tapahtuvaa tiedottamista ja kuulemista sekä valvontaa.

4.3.4 MSB määräykset räjähteiden käsittelystä, Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om hantering av explosiva varor (den 8 april 2019)<sup>17</sup>

MSB on antanut räjähtäviä aineita koskevia määräyksiä (MSBFS 2019:1), jotka koskevat mm. näiden aineiden varastointia ja valmistusta. Määräykset on annettu syttyviä ja räjähtäviä tuotteita koskevan asetuksen (2010:1075) 25§ nojalla

*1 Luku 2 §: Määräyksiä ei sovelleta kohteissa, joista puolustusvoimat on antanut määräyksiä asetuksen 2010:1075 26 §: n mukaisesti.*

*9 Luku 1–39 §: Varastointi*

*16 §: Henkilöiden ja omaisuuden suojelemiseksi varastojen ja suojattavien kohteiden välillä on oltava tietty etäisyys.*

*Etäisyyttä määritettäessä on otettava huomioon*

- räjähteiden laatu ja määrä
- luontainen suoja tai toteutetut suojoimenpiteet.

*10 Luku 1–44 §: Valmistus*

*4 §: Henkilöiden ja omaisuuden suojelemiseksi on valmistuspaikan ja suojattavien kohteiden välillä oltava riittävä etäisyys. Etäisyyden on minimoitava mahdollisen tapahtuman seuraukset ulkopuolisille (kolmansille osapuolille). Etäisyys voidaan korvata osittain muilla suojoimenpiteillä.*

Määräyksen MSBFS 2019:1 liitteessä 8 suojattavat kohteet on jaettu neljään ryhmään: erityissuojattavat kohteet ja pääryhmien I, II ja III suojattavat kohteet:

- E erityissuojattavia kohteita ovat alueet, rakennukset tai tilat, joissa voi olla runsaasti ihmisiä ja joissa on mahdollisuus suuriin henkilövahinkoihin esim. sairaalat, koulut, suuret toimistorakennukset jne.
- Pääryhmään I kuuluvat alueet, rakennukset tai tilat, joissa yleensä on yli kymmenen henkilöä tai tilat, joissa on mahdollisuus merkittäviin taloudellisiin vahinkoihin esim. asuinalue, tavaratalo, vilkas liikenneväylä jne.
- Pääryhmään II kuuluvat alueet, joilla on yleensä alle kymmenen henkilöä sekä alueet, joilla on merkittäviä kulttuuri- tai ympäristöarvoja.
- Pääryhmään III kuuluvat esimerkiksi kohtalaisen liikennetiheyden välät esim. kaupunginosien väliset välät, säännöllisen lauttaliikenteen välät.

<sup>15</sup> <https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2015236-om-atgarder-for-att-sfs-2015-236>

<sup>16</sup> <https://www.msb.se/siteassets/dokument/regler/rs/85c2e7e9-93bc-4bd8-a40f-d0c92f68210f.pdf>

<sup>17</sup> <https://www.msb.se/siteassets/dokument/regler/forfattningar/msbfs-2019-1-foreskrifter-och-allmanna-rad-om-hantering-av-explosiva-varor.pdf>

Dokumenttiin sisältyy myös yleisiä ohjeita räjähteiden käsittelystä. Ohjeet eivät ole oikeudellisesti sitovia, vaan niiden tarkoituksena on selventää säädösten merkitystä ja antaa yleisiä suosituksia niiden soveltamisesta.

Liitteessä A, joka täydentää otsikolla ”*Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps allmänna råd om hantering av explosiva varor*” annettua dokumentin MSBFS 2019:1 osaa, on tarkasteltu suojaetäisyyksiä ja niiden määräytymistä erilaisille räjähteille ja suojattaville kohteille. Erityisesti suojattavien kohteiden suojaetäisyys (A) metreinä voidaan määrittää seuraavalla yhtälöllä, missä Q on räjähteen nettomassa (kg)

$$A = 44\sqrt[3]{Q}$$

tai yksinkeraistettuna suojaetäisyys on 1,5 kertaa se suojaetäisyys, joka saadaan **Error! Reference source not found.**:stä vaarallisuusluokan 1.1 räjähteelle ja pääryhmän I suojattavalle kohteelle.

Taulukko 3. Lyhyimpien suojaetäisyyksien laskenta vaarallisuusluokkiin 1.1, 1.2 ja 1.5 kuuluville räjähteille.

	Pääryhmä I		Pääryhmä II		Pääryhmä III
Vaarallisuusluokka	1.1 ja 1.5	1.2	1.1 ja 1.5	1.2	1.1., 1.2 ja 1.5
Etäisyys A, m Q ≥ 100 kg	$A = 30\sqrt[3]{Q}$	$A = 68\sqrt[6]{Q}$	$A = 6\sqrt{Q}$	$A = 53\sqrt[6]{Q}$	$A = 9\sqrt[3]{Q}$
			Q ≥ 15 000 kg $A = 30\sqrt[3]{Q}$		

Määritettäessä suurimpia räjähdemääriä, joita voidaan varastoida erillisessä varastossa tai kalliotilassa voidaan vaihtoehtoisesti käyttää AMRISK-ohjelmistoa (ks. luku 3.1.3). Tämä maininta löytyy dokumenttiin MSBFS 2019:1 sisältyvästä osasta ”*Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps allmänna råd om hantering av explosiva varor*”. Osan johdannossa on todettu, että yleiset ohjeet eivät ole velvoittavia.

#### 4.3.5 Käsikirja: Hantering av explosiva varor

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) on vuonna 2020 julkaissut käsikirjan *Hantering av explosiva varor, Handbok till MSB:s föreskrifter MSBFS 2019:1*.<sup>18</sup> Sen tarkoituksena on tulkita ja antaa ohjeita syttyvistä ja räjähtävistä tuotteista annetun lain (2010:1011) ja MSB:n räjähtävien aineiden käsittelyä koskevien määräysten (MSBFS 2019:1) toteuttamisesta. Käsikirja on tarkoitettu sekä toiminnanharjoittajille että lupa- ja valvontaviranomaisille.

Käsikirjan luku 5 käsittelee riskien tarkastelua. Siinä todetaan, että

- Riskianalyysin tarkoituksena on tunnistaa, analysoida ja arvioida syttyvien ja räjähtävien aineiden käsittelyyn liittyviä onnettomuusriskejä sekä niistä mahdollisesti aiheutuvia seurauksia.
- On selvítettävä, ovatko riskit hyväksyttävissä ja ehdotettava toimenpiteitä onnettomuuksien seurausten ehkäisemiseksi ja rajoittamiseksi.

<sup>18</sup> <https://rib.msb.se/filer/pdf/29201.pdf>

- Minkään tietyn analyysimenetelmän käyttöä ei vaadita. Toiminnanharjoittaja päättää itse, mitä analyysimenetelmiä käyttää.

Käsikirjan luku 9.4 tarkastelee suojaetäisyyksiä. Siinä olevat laskentakaavat ja suojaetäisyystaulukot vastaavat MSB määräyksessä MSBFS 2019:1 olevia (ks. kappale 4.4.4).

#### 4.4 Ruotsin sotilasräjähdekohteisiin liittyvät säädökset

Ruotsalaiselta sotilaspuolen asiantuntija 1:ltä saadun sähköpostin (13.11.2020) mukaisesti Ruotsissa sekä siviili- että sotilasräjähdekohteita koskevat samat säädökset. Palovaarallisia ja räjähtäviä tuotteita koskevassa lain (2010:1011) mukaisesti Puolustusvoimilla on MSB:n suostumuksella oikeus valvoa syttyvien ja räjähtävien tuotteiden käsittelyä omissa toiminnassaan.

NATO -standardin AASTP-4 "Explosives safety risk analysis Part 1: Guidelines for risk based decisions" liitteessä A on lyhyesti esitetty Ruotsin sääntöjä räjähdetarastojen sijoittamisesta ja maankäytöstä viereisillä alueilla. Tiedot ovat vuodelta 2015.

Ruotsin osalta liitteessä kerrotaan kahdesta mittarista<sup>19</sup>: Vuotuinen 3. luokan (3rd party) yksilön kuolemantapauksen todennäköisyys ja kaikkien 3. luokan yksilöiden vuotuinen odotettavissa oleva kuolleisuus. Ryhmäriskin hyväksyttävyyden raja-arvo  $E(f)$  on  $1 * 10^{-4}$  ja yksilöriskin  $P(f) = 1 * 10^{-6}$ .

Standardissa mainitaan myös, että menetelmä on yleisesti käytössä Ruotsissa räjähdetarastojen riskin arvioinnissa.

##### 4.4.1 Hyväksyttävän riskitason määrittäminen Ruotsissa

Tämän luvun tiedot perustuvat ruotsalaiselta sotilaspuolen asiantuntija 2:lta (FOI) 14.12.2020 saadun sähköpostin sisältämiin vastauksiin ja sen liitteenä olleisiin dokumentteihin. Hyväksyttävän riskitason asettamisen perusteet on kuvattu raportissa (FORTV 1999). Raportissa luetellaan useita seikkoja jotka on syytä ottaa huomioon asetettaessa hyväksyttäviä riskitasoja. Yksilöriskille riskitasoja määritettäessä voi olla syytä määrittää erilaiset sallitut riskitasot eri ryhmiin (suoraan osalliset eli käytännössä laitoksen työntekijät, epäsuorasti osalliset, sekä kolmannen osapuolen edustajat kuten lähistöllä asuvat tai työskentelevät), eikä maksimaaliselle hyväksyttävälle riskille voi asettaa kiinteää arvoa yleisesti. Arvoa pitää voida muuttaa. Muiden maiden kokemusten hyödyntäminen voi antaa hyvää opastusta. Riskien sijasta voidaan määrittää kustannukset jotka ollaan halukkaita maksamaan riskien pienentämiseksi, tai korvaus joka vaaditaan siitä että riskit hyväksytään. Ryhmäriski määritetään tavanomaisesti tiettyyn ryhmään kuuluvien yksilöiden riskien summana. Raportissa huomautetaan kuitenkin, että yhteiskunta reagoi eri tavalla erilaisiin onnettomuuksiin: tietynlaisiin onnettomuuksiin reagoidaan voimakkaammin, ja reaktiot isoihin onnettomuuksiin ovat suhteellisestikin suurempia kuin pieniin. Esimerkkinä viimemainitusta huomautetaan, että Ruotsin liikenteessä kuolee vuosittain 500-600 henkeä ilman että se aiheuttaa dramaattisia toimenpiteitä poliitikoilta; sen sijaan Estonian uppoaminen, jossa kuolleiden ruotsalaisten määrä oli samaa luokkaa, on muodostunut eräänlaiseksi kansalliseksi traumaksi.

Kaksi menetelmää kustannus-hyötyanalyysien tukemiseen esitellään. Tuotannonmenetysmenetelmässä arvioidaan sen tuotannon arvoa jonka yksilö olisi saanut aikaan, mikäli hän ei olisi kuollut räjähdysonnettomuudessa; menetetyt tuotannon arvo on tietenkin suurempi nuorelle kuin vanhalle henkilölle. Maksuhalukkuusmenetelmässä yritetään arvioida, mitä ihmiset ovat halukkaita maksamaan onnettomuusriskien pienentämiseksi; arviointia voidaan tehdä esimerkiksi kyselytutkimuksien avulla tai epäsuorasti siten, että analysoidaan sellaisten tehtyjen päätösten aiheuttamia kustannuksia, jotka tähtäävät riskien pienentämiseen. Maksuhalukkuus tähtää tilastollisesti pelastetun ihmiselämän arvon määrittämiseen; esimerkiksi Banverketin (nyky-

<sup>19</sup> Näitä mittareita ei kuitenkaan löytynyt referoiduista MSB:n dokumenteista.

ään osa Trafikverketiä, Ruotsin liikennevirastoa) 1994 teettämässä selvityksessä pelastetun ihmiselämän arvoksi arvioitiin 12 miljoonaa Ruotsin kruunua. Maksuhalukkuusmenetelmässä voidaan ottaa huomioon kuoleman lisäksi myös eriaistiset vammautumiset nk. laatukorjattujen elinvuosien (quality-adjusted life years, QALY) avulla. Maksuhalukkuusmenetelmä tuottaa tietenkin eri arvoja eri aikoina ja eri kulttuureissa. Lisäksi esitellään FN-käyrä (joka tunnetaan todennäköisyyspohjaisessa riskianalyyssissä paremmin nimellä Farmerin käyrä); siinä piirretään riskin toteuman käänteinen kumulatiivinen todennäköisyys (todennäköisyys, että riskin toteutumisen seurauksen suuruutta mittaava suure, esimerkiksi kuolonuhrien määrä, ylittää tietyn arvon) seurauksen suuruuden funktiona.

Raportissa esitellään myös eri maissa käytettyjä laskentaperusteita, hyväksyttävän riskin maksimiarvoja, ja maakohtaisesti eräitä muitakin tietoja. Tarkastellut maat ovat Sveitsi, Norja, Alankomaat, Yhdysvallat, Englanti ja Ruotsi itse. Esimerkiksi Sveitsin kohdalla mainitaan, että siellä käytetään laskentaperusteena tilastollisesti pelastetun ihmiselämän koettua arvoa; koettu viittaa tässä siihen, että onnettomuudessa kuolleiden arvo kasvaa subjektiivisesti ottaen onnettomuuden suuruuden (kuolleiden lukumäärän) mukana. Sveitsiläisessä laskentakaavassa kuolleiden lukumäärää kerrotaankin aversiokertoimella  $A=2^{N/5}$  kun  $N \leq 20$ , missä  $N$  on kuolleiden lukumäärä; kun  $N > 20$ , aversiokertoimeksi asetetaan  $A=16$ . Tilastollisesti pelastetun ihmiselämän hinnaksi on Sveitsissä asetettu tuohon aikaan 20 miljoonaa Sveitsin frangia.

Hyväksyttävät kolmannen osapuolen yksilöriskin taso sekä ryhmäriskitaso määritetään seuraavasti. Tarkastellaan maanpäälliselle varastolle määritettyjä suojaetäisyyksiä, ja lasketaan IFTEX-käsikirjassa (Försvarsmakten 2011) kuvatulla menetelmällä suojaetäisyys  $S$  jollain ajatellulla räjähdemäärällä  $Q$  pysyvästi asutulle kolmannen osapuolen asuinrakennukselle. Seuraavaksi lasketaan QRA-ohjelmalla - raportissa käytetty AMMORISKiä - kyseisen varaston (räjähdemäärä  $Q$ , räjähdysen todennäköisyys AMMORISKin oletusarvo kyseiselle suurelle) aiheuttama yksilöriski etäisyydellä  $S$  sijaitsevassa asuinrakennuksessa asuvalle henkilölle, jonka läsnäolokerroin on korkea. Laskentaa on toistettu joukolle suojaetäisyyskriteerit täyttäviä ruotsalaisia räjähdetarastoja, ja yksilöriskin sekä ryhmäriskin vaihteluväliksi on AMMORISKillä saatu yksilöriskillä hieman yli  $1.0 \cdot 10^{-6}$  ja ryhmäriskillä noin arvoon  $1.1 \cdot 10^{-4}$  kohoavia arvoja. Korkeimmaksi hyväksyttäväksi riskitasoksi määritetään tällä perusteella yksilöriskille  $1.0 \cdot 10^{-6}$  ja ryhmäriskille  $1.1 \cdot 10^{-4}$ .

Näitä hyväksyttäviä riskitasoja perustellaan sillä, että paljon niitä matalammat hyväksyttävät riskitasot olisivat oleellisesti matalampia kuin muista toiminnoista aiheutuvat riskit, ja ohjaisivat resurssien käyttöä pienentämään jo valmiiksi pieniä riskejä vielä pienemmiksi, sen sijaan että pienennettäisiin isompia riskejä. Lisäksi valittu yksilöriskin taso on vastaa hyvin mainituissa verrokkimaissa asetettuja hyväksyttäviä riskitasoja.

Ryhmäriski määritellään yksilöriskien summana, jota kerrotaan aversiokertoimella (dokumentista ei suoraan ilmene mitä aversiokerrointa käytetään, mutta oletettavasti se on ainoa raportissa erikseen kuvattu eli yllämainittu sveitsiläinen).

Ruotsalaisen sotilaspuolen asiantuntija 2:n vastauksen mukaan päätöksen ottaa käyttöön nämä riskitasot teki Sprängämneinspektionen (SÄI, MSB:n edeltäjä) vuonna 1999. Edelleenkin hyväksyttävät riskitasot on määritetty vain kolmansille osapuolille. Samana vuonna SÄI myös päätti hyväksyä AMMORISKin vaihtoehtoiseksi menetelmäksi turvaetäisyyslaskennalle maanalaisten varastojen luvanhaussa, ja 2001 myös maanpäällisten varastojen (ohjelman nimi oli ehtinyt vaihtua AMRISKiksi). Sähköpostilla saatujen hyväksymisdokumenttien mukaan maanalaisten varastojen osalta hyväksymispäätöksen on allekirjoittanut Ruotsin pääesikunnan Säkerhetsinspektion-yksikön (turvallisuustarkastus) päällikkö; maanpäällisten varastojen osalta hyväksymispäätöksen on tehnyt Säkerhetsinspektionin virkaatekevä päällikkö, mutta päätöksen allekirjoittajien virka-asema ei ilmene hyväksymisdokumentista. Siviilipuolella päätöksen hyväksyä AMRISK vaihtoehtoiseksi menetelmäksi arvioitaessa sallittuja räjähdemääriä maanpäällisissä varastoissa teki SÄIn pääjohtaja, myöskin vuonna 2001.

#### 4.5 Muiden maiden käyttämiä kvantitatiivisia riskitasoja



Seuraavassa taulukossa (taulukko 4) esitetyt kvantitatiivisten riskitasojen laskentatavat ja hyväksytyt raja-arvot on otettu v. 2016 julkaistusta NATO-standardin AASTP-4, "Explosives safety risk analysis Part 1: Guidelines for risk-based decisions" liite A:sta. Standardissa esitetyt tiedot ovat vuodelta 2015. Ao. taulukossa esitetyt käännökset on tehty VTT:n tutkijan toimesta.

*Taulukko 4. NATO-standardissa AASTP-4 part 1 mainittujen valtioiden (pl. Norja ja Ruotsi, jotka käsitelty jo edellä) käyttämät kvantitatiiviset riskimitat, hyväksymiskriteerit ja laskentakaavat.*

<b>Valtio</b>	<b>Kvantitatiivinen riskimita</b>	<b>Kriteerit</b>	<b>Laskentakaava</b>
Australia (2015, Use: Support management decisions; Licensing for QD non compliance and for Storage under 50kg)	Ennustetaan kuolemantapausten määrän odotusarvon maksimia	Yleisesti hyväksytty riskitaso $10^{-6}$ / vuosi	Potentiaalinen riski = tapahtumataajuus/vuosi * kuolemantapausten todennäköisyys  Yksilöriski = tapahtumato-dennäköisyys/vuosi * kuolemantapausten todennäköisyys * altistuminen
Kanada (2015; Use: Risk management for: introduction into service; handling; storage; and, disposal of Ammunition and Explosives.)	Kombinaatio kvalitatiivisesta ja kvantitatiivisesta menetelmästä (ei tarkempaa kuvausta)	Kriteerinä loukkaantumisen tai ihmisten kuolema. Myös materiaaliset vauriot huomioidaan.	Riski = todennäköisyys * seuraukset
Ranska (2008; Use: Examine the risks due to each facility with explosive substances and give administrative approvals)	Ei käytössä kvantitatiivista menettelyä.	Kunkin altistuvan kohteen pitää sijaita vaara-alueella, joka on linjassa potentiaalisen räjähdyskohteen onnettomuustaaajuuden kanssa.	Riskin määrittelyssä otetaan huomioon onnettomuustilanteen tapahtumataajuus, seurausten vakavuus ja kyseisen paikan käytön yleisyys.
Saksa (2015; Use: Specialists assess non-standard ammunition storage scenarios)	Odotettu tapahtumataajuus. Odotettu tapaturmaisten kuolemantapausten määrä seurausvaikutusten mittana. Yksilöön ja yhteiskuntaan kohdistuva tapaturmaisen kuolemantapausten arvioinnin perustana on yleinen tapaturmaisen kuoleman riski Saksassa, joka on $5 * 10^{-4}$ .	Virallisesti hyväksyttyä kriteeriä ei ole. Päätökset tehdään tapauskohtaisesti. Esimerkiksi yksilöiden tapaturmaisen kuoleman riski ei saa ylittää 20% riskitekijän $R_c$ arvosta. Tapaturmaisen kuolemantapausten yhteiskunnallinen riski (societal risk) $R_s$ räjähdysainearastoihin liittyvissä toiminnoissa ei saa ylittää arvoa $1 * 10^{-7}$ .	Riskitekijä = tapahtumataajuus * tapahtuman seurausvaikutukset, eli $R = F_e * C_e$ (kuolemantapausten määrä henkilövuotta kohti).

<b>Valtio</b>	<b>Kvantitatiivinen riskimitta</b>	<b>Kriteerit</b>	<b>Laskentakaava</b>
Hollanti (2015; Use: To assess the risk for external safety of ammunition storage in the Netherlands and deployed locations.)	Yksilöriski: Riski suojattomille yksilöille tietyssä sijaintipisteessä, 24 h/päivä, 365 päivää/vuosi. Tämä ilmaistaan ISO-riskikäyrätoilla.  Yhteiskunnallinen riski: Ryhmään kohdistuva riski määritellyissä olosuhteissa (esim. altistumishetki, suojaukset jne.)	Yksilöriski: <ul style="list-style-type: none"> <li>Olemassa olevat kohteet (= situations) <math>1 \cdot 10^{-5}</math> / vuosi</li> <li>Uudet kohteet: <math>1 \cdot 10^{-6}</math> / vuosi</li> </ul> Yhteiskunnallinen riski (F/N-käyrä): <ul style="list-style-type: none"> <li><math>F \cdot N^2 = 1 \cdot 10^{-3}</math> (N= kuolemantapausten määrä, F= kumulatiivinen tapahtumataajuus)</li> </ul>	Yksilön riski määritellyissä potentiaalisissa räjähdyskohteissa (kohteet 1...n) on $\sum [P_e]_n \cdot [P_{f/e}]_n$  Yhteisöriski: Jokaisen räjähdyskennan (kullekin räjähdyskohteelle erikseen) kuolemantapausten lukumäärä ympäristössä ja kumulatiivinen alkutapahtumien taajuus laitetaan F/N -käyrälle.
Sveitsi (2015; Use: - Optimization of safety by cost effective risk reduction; - Storing, handling and transportation of ammunition and explosives within the forces and military administration; - Siting of explosives facilities)	Yksilöriski ja havaittu kollektiivinen riski	Yksilöriski: Ylemmät raja-arvot Sivulliset: $3 \cdot 10^{-6}$ Epäsuorasti osallistuvat henkilöt: $1,5 \cdot 10^{-5}$ /vuosi Mukana olevat henkilöt: $3 \cdot 10^{-5}$ /vuosi  Havaittu kollektiivinen riski (kustannuksiin perustuva ehdotus)  Sivulliset: 30M CHF/pelastettu henki  Epäsuorasti osallistuvat: 12M CHF/pelastettu henki  Mukana olevat: 6M CHF/pelastettu henki	Yksilöriski IR $= P_{(e)} \cdot P_{(f/e)} \cdot E_{(p)}$ , jossa $P_{(e)}$ = tapahtuman esiintymistodennäköisyys $P_{(f/e)}$ = henkilön kuolemantapausten todennäköisyys $E_{(p)}$ = Altistumisen todennäköisyys  Havaittu kollektiivinen riski $PR = A \cdot \sum IR$ , jossa $A$ = torjuntakerroin (risk aversion factor)

<b>Valtio</b>	<b>Kvantitatiivinen riskimitta</b>	<b>Kriteerit</b>	<b>Laskentakaava</b>
Yhdysvallat (2015; Use: Facilitate informed decisions: - Siting explosives facilities - Reduce risks where explosives exist)	Neljää eri riskimittaa käytetään:  Yksilön kuolemantapauksen todennäköisyys/ vuosi (toimintoon liittyvä/ei liittyvä) ja  Kaikkien ihmisten odotettu kuolleisuus (toimintoon liittyvä/ei liittyvä)	Toimintoon liittyvän henkilön $E(f) = 1 \cdot 10^{-3}$  Toimintoon ei-liittyvän henkilön $E(f) = 1 \cdot 10^{-5}$  Toimintoon liittyvän yksilön maksimi $P(f) = 1 \cdot 10^{-4}$  Toimintoon ei-liittyvän yksilön maksimi $P(f) = 1 \cdot 10^{-6}$	$F = \Delta t \cdot S \cdot \lambda (NEW, E) \cdot P_{f e} (NEW, Yield, effects) \cdot E$ , jossa  $\Delta t$ = ajanjakso, jolloin ihmiset ja räjähteet ovat läsnä $S$ = ympäristötekijät $\lambda$ = tapahtuman todennäköisyys  $P_{f e}$ = kuolemantapauksen todennäköisyys  $E$ = henkilöstön altistuminen räjähdystapahtumalle perustuen paikan päällä vuosittain olevaan henkilöstömäärään ja aikaan, jonka henkilöstö altistuu vaaralle'.

#### 4.6 Riskitasot Suomen puolustusvoimissa

Sotilasräjähdemääräyksen (SRM) 2016 teknisen osan luolavarastoja koskevan kohdan 8.3.4.2 mukaan tilanteissa, joissa ulkoiset suojaetäisyydet eivät täyty, on päätöksenteon tueksi suoritettava tapauskohtainen riskinarviointi. Hyväksyttävää riskitasoja ei ole määriteltä puolustusvoimissa aiemmin. Siksi pääesikunta on tehnyt Taulukosta 5 löytyvän esityksen hyväksyttävistä riskitasoista. Yksilön riski on määriteltä suurimpana todennäköisyytenä, että yksittäinen henkilö kuolee vuoden aikana. Ryhmän riski on vuoden aikana tapahtuvien kuolemien odotusarvo.

Taulukko 1: Pääesikunnan riskitasot.

Ryhmä	Riskin kohde	Yksilön riski	Ryhmän riski
1	Suoranaisesti räjähdetyöhön osallistuvat henkilöt	$4 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$ (kokonaisriski ryhmille 1, 2 ja 3)
2	Epäsuorasti räjähdetyöhön osallistuvat henkilöt	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$ (kokonaisriski ryhmille 2 ja 3)
3	Toiminnan ulkopuoliset henkilöt	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$ (kokonaisriski ryhmälle 3)

Riskitasojen valinnassa on huomioitu eri maissa käytettävät riskitasot, sekä tilastot kuolemaan johtaneista tapaturmista. Valitut riskitasot ovat yleisesti ottaen varsin lähellä Norjassa käytettyjä riskitasoja (osio 4.1.5.8) ja linjassa eri maissa käytettyjen tasojen kanssa. Joissain maissa on huomattavasti löysempiä kriteerejä. Ulkopuolisen henkilön riskille on myös tiukempia kriteerejä Norjassa ja Saksassa.

Näillä riskitasoilla räjähdetyöhön osallistuvien henkilöiden riski on pienempi kuin rakennustoimialalla työskentelevällä Suomessa keskimäärin. Riski ulkopuoliselle henkilölle on myös huomattavasti pienempi kuin yleinen tapaturmaisen kuoleman riski Suomessa.

## 5 Kvantitatiivisen riskienarviointimenetelmän validointivaatimukset

Toimeksiannon yhden tehtävän tarkoitus projektisuunnitelman mukaan on ”selvittää millaiset laadunhallinnalliset validointivaatimukset räjähdekohteille sovellettavan kvantitatiivisen riskienarviointimenetelmän tulee täyttää, jotta menetelmän käyttöä voidaan puoltaa Suomen läheisissä kumppanimaissa”. Valitettavasti tällaisia validointivaatimuksia ei löytynyt tarkastelluista dokumenteista, jotka kuitenkin sisälsivät räjähdekohteiden QRA-menettelmien verifiointia ja validointia; tämä antaa aiheen olettaa että mikään taho ei ole toistaiseksi määritellyt sellaisia. Tämän takia seuraavassa esitellään verifiointia ja validointia (V&V) yleisellä tasolla, räjähdde-QRA-menettelmille käytännössä tehtyä V&V:tä, Suomessa ydinvoimapuolella käytettyjä V&V-menettelyjä, sekä kahden räjähdde-QRA-alan asiantuntijatahon - NATOn MSIAC-instituutin ja norjalaisen sotilaspuolen asiantuntijan - näkemyksiä menetelmien V&V:sta. Näiden toivotaan antavan kuvan räjähddekohteiden QRA-menettelmien V&V:iin liittyvistä kysymyksistä, kansainvälisestä tilanteesta, sekä yhdestä suomalaisesta esimerkistä miten viranomaistaho on järjestänyt asian.

Termistä verifiointi käytetään usein suomenkielellä nimitystä todentaminen, ja termistä validointi kelpoistaminen (joskus myös kelpuuttaminen). Nämä ovat mm. Säteilysurvakeskuksen käyttämiä nimityksiä. Näitä suomenkielisiä nimityksiä käytetään myös tässä dokumentissa.

### 5.1 Todentamisen ja kelpoistamisen määrittelmistä

Todentaminen ja kelpoistaminen ovat alalla kuin alalla laadunhallintatoimia, joissa erilaisten analyysien, testien, tarkastusten ja vertailujen avulla pyritään määrittelemään kuinka hyvin tarkasteltava entiteetti - esimerkiksi tietokoneohjelma, menetelmä, tekninen järjestelmä - täyttää sille asetetut vaatimukset (todentaminen) ja sopii käyttötarkoitukseensa (kelpoistaminen).

Vaatimuksia voi tulla esim. säädöksistä, standardeista, erillisistä vaatimusmääryksistä, ohjeistoista jne. Todentamisessa tarkasteltavat vaatimukset voivat olla myös tieteellisiä. Esimerkiksi räjähdde-QRA-menettelmän käyttämää paineimpulssin etenemisen mallia voidaan todentaa analysoimalla ja laskennallisesti vertaamalla, vastaako se riittävän hyvin ajanmukaisia fysiikan piirissä kehitettyjä paineaallon etenemisen malleja. Tässä siis matemaattista mallia todennetaan vertaamalla toisiin matemaattisiin malleihin (jotka ovat teoreettisesti perusteltuja ja yleensä tahollaan kokeellisesti kelpoistettuja).

Käyttötarkoitukseen sopivuuteen voi liittyä esim. menetelmän tarkkuus (esim. miten hyvin menetelmässä tehtyjen fysikaalisten laskelmien tulokset vastaavat kokeellisia tuloksia), käytettävyys (esim. miten hyvin menetelmän ajatellut käyttäjät osaavat käyttää menetelmää) ja käyppyy (esim. onko menetelmän edellyttämiä lähtötietoja saatavilla).

Näiden kahden käsitteen - todentamisen ja kelpoistamisen - täsmällinen sisältö kuitenkin vaihtelee alalta toiselle. Seuraavassa muutamia räjähddekohteiden QRA:n kannalta relevantteja määrittelmiä.

Projektitoiminnassa laajasti käytetty PMBOK-ohjeisto (Project Management Institute 2013) määrittelee käsitteet seuraavasti (käännös Google-kääntäjällä, kieliasua muutettu sujuvammaksi):

- Todentaminen. Sen arviointi, täyttääkö tuote, palvelu tai järjestelmä säädöksen, vaatimuksen, spesifiikaation tai asetetun ehdon vai ei. Se on usein sisäinen prosessi..

- Kelpoistaminen. Vakuus siitä, että tuote, palvelu tai järjestelmä täyttää asiakkaan ja muiden tunnistettujen sidosryhmien tarpeet. Siihen liittyy usein ulkopuolisten asiakkaiden hyväksyntä ja soveltuvuus heidän tarpeisiinsa.

Tilastotieteessä kelpoistamisella tarkoitetaan sen todentamista, kuinka hyvin tilastollinen malli vastaa ulkoista todellisuutta. Käytännössä tämä tapahtuu niin, että lasketaan millaisia ennusteita malli antaa tulossuureille, ja sitten eri tavoin verrataan näitä ennusteita havaittuihin tai tilastoituihin arvoihin. Tarkasteltavia asioita ovat esimerkiksi se, kuinka tarkasti ennusteet vastaavat havaintoja, onko ennusteissa havaittavissa systemaattista virhettä (esim. aina liian optimistinen ennuste) yms.

Simuloinnissa (järjestelmän toiminnan jäljittelyssä jonkinlaisen mallin avulla) kelpoistaminen on "prosessi jossa määritetään mihin määrään asti malli ja siihen liittyvä datajoukko ovat reaali maailman tarkkoja kuvauksia mallin ajatellun sovelluskohteen kannalta" (Murray-Smith 2015, s. 25).

Tietokoneohjelmien kehityksessä todentamisella tarkoitetaan usein vaihetulosten evaluointia ja validoinnilla lopputuloksen eli valmiin ohjelman evaluointia (esim. Rakitin 2001, s. 57).

## 5.2 Esimerkkejä räjähd-QRA-menetelmille tehdystä todentamisesta ja kelpoistamisesta

Räjähd-QRA-menetelmien todentaminen ja kelpoistaminen on tarkastelluissa lähdemateriaaleissa liittynyt menetelmien ohjelmatoteutuksien kehitykseen.

AMRISK-ohjelmaa (luku 3.2.4) on todennettu ja kelpoistettu versiopäivitysten yhteydessä. Versio 1.2  $\beta$  (Holm et al. 2003) sisälsi tietoteknisiä parannuksia kuten tiedostorajapinnan muodostaminen paikkatietojärjestelmiin ja ohjelmakoodin uudelleenorganisointi (refactoring), mutta myös menetelmänkehitystä kuten riskikäyrien (ks. luku 3.1) laskennan ja esittämisen kartan päällä. Toiminnan tarkoitus oli todentaa että ohjelmankehitysprojektiin sopimuksessa esitetyt vaatimukset täyttyvät, eli kyse oli todentamisesta. Suuri osa todentamiseen käytetystä työpanoksesta kului tietoteknisten parannusten todentamiseen ja kelpoistamiseen, mm. sen osoittamisen, että uudelleenorganisointi ohjelmakoodi tuotti samat tulokset kuin ohjelman edellinen versio. Menetelmää todennettaessa havaittiin menetelmässä ja ohjelmatoteutuksessa virheitä, mm. että laskenta ei tiettyjen ehtojen täytyessä (maanalainen varasto, vähäinen räjähteen määrä tilavuusyksikköä kohti ym.) tuottanut olenkaan tulosta.

AMRISK 2.0:ssa (Holm et al. 2005) suurin menetelmällinen uutuus olivat uudet mallit fyysisille vaikutuksille (paineimpulssin maksimin ja keston laskenta). Uusia malleja todennettiin vertaamalla vanhoihin malleihin (jotka olivat käytettävissä AMRISK 1.2:ssa), eräiden muiden menetelmien antamiin tuloksiin sekä Yhdysvaltain puolustusministeriön alaisen DDESB:n kehittämään Blast Effects Computer (BEC) -ohjelmaan. Vertailuja on tehty melko monipuolisesti, vertailtavina suureina edellämäinittujen lisäksi kuolettavuus, vertailtavina kohteina maanpäällinen ja maanalainen varasto, sekä useissa vertailutilanteissa. Todentamistestit osoittavat, että uudet mallit on otettu käyttöön oikein. Lisäksi testit osoittavat, että uusien mallien laskemat paineen ja dynaamisen impulssin arvot useissa tapauksissa eroavat merkittävästi AMRISKin edellisen version 1.2 mallien tuottamista tuloksista. Maanpäällisten varastojen kohdalla uuden mallin suuntaava vaikutus on huomattava.

IMESA FR-ohjelman (luku 3.2.2) versiota 1.2 on kelpoistettu vertaamalla sen seurauslaskenta-algoritmien tuloksia Quinin tehtaalla Gladstonessa, etelää-Australiassa 9.5.2006 tapahtuneen räjähdys onnettomuuden seurauksiin (Tatom et al. 2011). Mukana vertailussa oli myös toinen saman yhtiön (APT Research) kaupallisesti saatavilla oleva DIRE (Prevention of Death and Injuries Resulting from Explosions)-ohjelma. Yhden tapauksen perusteella ei tietenkään voi sanoa paljoa IMESA FRin laskentamenetelmien sopivuudesta, mutta tapauskohtainen vertailukin voi olla hyödyllinen kun yritetään parantaa mallien realismia, mikäli tapauksesta on riittävästi tietoja. Tulokset osoittavat odotusten mukaan mallien antavan konservatiivisia ennusteita

(malli arvioi seuraukset vakavammiksi kuin ne todellisuudessa ovat) etenkin lähietäisyyksillä verrattuna todelliseen kokemukseen.

Yhdysvalloissa on tehty laajasti räjähdyskokeita mm. sikäläisen puolustusministeriön alaisen Department of Defense Explosives Safety Boardin (DDESB) ESKIMORE-projektissa. Esim. SAFERin (luku 3.2.3) tuloksia oli vuoteen 2011 mennessä verrattu seitsemän eri räjähdyskokeen tulostietoihin. Yksi painopiste näissä vertailuissa on ollut SAFERin laskeman heitetiheyden vertailu kokeelliseen dataan eri etäisyyksillä; on osoittautunut että SAFER ennustaa sirpaleitiheyden melko hyvin, vaikka lyhyillä etäisyyksillä ohjelma ennustaa jonkin verran enemmän sirpaleita kuin kokeellisesti on havaittu, ja vastaavasti pitkillä etäisyyksillä joissain tapauksissa jonkin verran vähemmän. Kokeellisen ja onnettomuusdatan lisäksi yhdysvaltalaisia menetelmiä ja malleja on verrattu terrorismitapauksista saatuihin tietoihin sekä muihin menetelmiin.

### 5.3 Säteilyturvakeskuksen todentamis- ja kelpoistusvaatimukset

Ydinvoimapuolella STUKin määräyksen STUK Y/1/2018 3 §:n mukaan *turvallisuusvaatimusten täyttymisen osoittamiseen käytettävien analyttisten menetelmien on oltava luotettavia sekä todennettuja ja kelpuutettuja käyttötarkoitukseensa. Analyysien avulla on osoitettava, että turvallisuusvaatimukset täyttyvät suurella varmuudella. Tulosten epävarmuus on otettava huomioon arvioitaessa turvallisuusvaatimusten täyttymistä.*

STUKin käyttämät määritelmät löytyvät STUKin säännöskokoelman stuklex.fi:n [sanastosta](#). Kelpuutuksella (validointi) STUK tarkoittaa *objektiiviseen näyttöön perustuvaa varmistumista siitä, että tiettyä käyttöä tai soveltamista koskevat vaatimukset on täytetty. Kelpoituksella tarkoitetaan YVL-ohjeissa yleensä samaa kuin kelpuutuksella.*

STUKin määräys on luvanhaltijoita sitova. Ehkä tämän takia määräyksessä ei esitetä tarkempia vaatimuksia kelpuutukselle tai todentamiselle. Sen sijaan niitä esitetään YVL-ohjeissa, jotka eivät ole samalla tavalla sitovia vaan niistä voidaan perustellusta syystä STUKin luvalla poiketa.

Esim. [YVL C.4](#):ssä (ydinlaitosten ympäristön väestön säteilyannoksen arviointi) esitetään seuraavia vaatimuksia: *Mallien, laskentamenetelmien ja käytettävien tietokoneohjelmien on oltava todennettuja ja kelpuutettuja. Kelpuutus voi perustua kirjallisuudessa esitettyihin mallien ja menetelmien kelpuutukseen tai laskentatulosten vertaamiseen muilla aiemmin kelpuutetuilla malleilla saatuihin tuloksiin. Selvityksissä on oltava kuvaus siitä, miten mallit on kelpuutettu ja miten ne soveltuvat laitospaikan olosuhteisiin. Selvityksissä on myös perusteltava, miten on pyritty varmistautumaan laskentamallien oikeellisuudesta (kelpuutuksesta) ja laskentaparametrien soveltuvuudesta laitospaikan ympäristössä vallitseviin olosuhteisiin.*

STUK edellyttää [YVL B.1](#):ssä (ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu) turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiltä, rakenteilta ja laitteilta kelpoistussuunnitelmaa. Vaikka turvajärjestelmän kelpoistaminen on eriluonteista kuin QRA-menetelmän kelpoistaminen, STUKin vaatimus kelpoistamissuunnitelmalle antaa kuvan siitä, mistä kelpoistaminen ja sen hallinta voivat yleisellä tasolla koostua:

*Kelpuutusprosessin ohjaamiseksi järjestelmälle on laadittava kelpoistussuunnitelma. Kelpoistussuunnitelmassa on esitettävä*

- *[..] tuotettava aineisto, jota käytetään kelpuutuksessa*
- *kelpuutusta varten suunnitellut arviot, testit, analyysit ja koestukset sekä näihin käytetyt menetelmät, niiden soveltuvuus ja suorittaja*
- *kelpuutuksen etenemissuunnitelma aikatauluarvioineen ja riippuvuuksineen suhteessa projektin etenemiseen*
- *kelpuutuksessa tuotettu tai tuotettava dokumentaatio ja tämän esittäminen viranomaiskäsittelyyn.*

Hyvin läheistä sukua erilaisten laskennallisten menetelmien kelpoistusvaatimuksille ovat tietokoneohjelmien kelpoistusvaatimukset. Tämä johtuu siitä, että tietokoneohjelma yleensä toteuttaa jonkin menetelmän, tai joukon menetelmiä. Hyvin kirjoitettu ja oikeellinen ohjelmakoodi onkin eräänlainen sen toteuttaman menetelmän formaali kuvaus. STUKin ohjeista [YVL B.3](#) (ydinvoimalaitoksen deterministiset turvallisuusanalyysit) esittää kelpoistusvaatimuksia tietokoneohjelmille, joilla deterministiset turvallisuusanalyysit tehdään. Seuraavassa joitakin ohjeessa esitettyjä kelpoistamiseen liittyviä vaatimuksia:

- *Analyyseissä käytettävistä malleista ja laskentamenetelmistä on esitettävä kuvaus. Mallit on kuvattava sellaisella tarkkuudella, joka mahdollistaa mallin oikeellisuuden tarkastamisen suhteessa laitoksen suunnitteluun sekä valittujen mallinusratkaisujen soveltuvuuden arvioinnin. Kuvauksessa esitettäviä tietoja ovat laitosta tai sen osaa kuvaava analyysimalli (esim. mallissa käytetty noodijako), perustelu valituille malliparametreille sekä analyyseissä käytetyt laitostiedot tai viittaus lähteeseen, josta laitostiedot ovat saatavissa.*
- *Fysikaalisten mallien ja analyyseissä käytettävien tietokoneohjelmien kelpoisuus on osoitettava vertaamalla niillä saatuja laskentatuloksia erillisilmioille tai kokonaisille järjestelmille tehtyihin kokeisiin tai ydinvoimalaitoksilla tapahtuneisiin häiriöihin. Myös vertailua muihin aiemmin kelpuutettuihin malleihin voidaan käyttää hyväksi.*
- *Lopullisessa turvallisuusselosteessa on esitettävä kuvaus häiriö- ja onnettomuusanalyyseissa käytettävistä laskentamenetelmistä ja niiden kelpuutuksesta sekä järjestelmien teknisten ratkaisujen hyväksyttävyyden osoittavat lopulliset häiriö- ja onnettomuusanalyysit.*

YVL-ohje B.3 on tietokoneohjelmien kelpoistamisen osalta melko yleispiirteinen. Paljon yksityiskohtaisemmat validointivaatimukset on esitetty IAEA:n determinististen turvallisuusanalyysien ohjeessa (IAEA 1999). Siinä koko luku 6 (7 sivua) on omistettu deterministisissä turvallisuusanalyyseissä käytettyjen tietokoneohjelmien todentamis- ja validointivaatimuksille. Luvussa esitetään vaatimuksia niin ohjelmankehitysprosessin laadunhallinnalle, ohjelman designin todentamiselle (jossa designia verrataan vaatimusmäärittelyyn), ohjelman lähdekoodin todentamiselle (että se on ohjelmointistandardien, ohjelmointikielensä standardien ja designin mukainen ym.), että ohjelman kelpoistamiselle (kelpoistamisprosessi, ohjelman testaus, kelpoistamislaskelmat ja niiden tulosten arviointi, kelpoistamisessa käytettävä syötedata, kokeellisen datan käyttö, benchmarking).

#### 5.4 Asiantuntijoiden näkemyksiä menetelmien todentamis- ja kelpoistusvaatimuksista

Kahden räjähde-QRA:n asiantuntijatahon näkemyksiä kysyttiin koskien alan menetelmien kelpoistusvaatimuksia.

##### 5.4.1 NATON MSIAC-projektitoimiston näkemykset

Munitions Safety Information Analysis Center (MSIAC) on NATO:n projektitoimisto, jonka tavoite on auttaa jäsenvaltioita pienentämään tai poistamaan omien sotatarvikkeiden räjähdysriskejä ihmisille ja kalustolle. Projektin toimintatapoja ovat informaation ja teknologian kerääminen, tallentaminen, vaihtaminen ja analyysi.

MSIACille lähetettiin tietopyyntö koskien räjähdekohteiden QRA-menetelmiä sekä niiden todentamista ja kelpoistamista. MSIACin asiantuntija vastasi kysymyksiin Internet-etäkokouksessa, joka järjestettiin 20.10.2020. Vastaukset olivat tuossa vaiheessa alustavia, ja viralliset vastaukset olivat tekeillä. MSIACin asiantuntija toimitti vastaukset 2.11.2020 (MSIAC 2020).

Sisältääkö AASTP-4 osa II vaatimuksia tai suosituksia siitä kuinka QRA-menetelmiä pitäisi todentaa ja kelpoistaa jotta menetelmää voi käyttää? Jos sisältää, kuvailisitko näitä vaatimuksia/suosituksia?

*AASTP-4 osa II:ssa kuvailut mallit on jo validoitu (hyväksytty) vastaavissa valtioissa. AASTP-4 osa II ei aseta vaatimuksia tälle hyväksynnälle. International Explosives Safety Symposium and*

*Exposition (IESS&E)-symposiossa San Diegossa pidettiin monia esityksiä monenlaisista räjähdeturvallisuustyökaluista jotka on hyväksytty käyttöön USA:ssa (Cotton ja Kaminski 2018).*

Sisältääkö AASTP-4 Part II esimerkkejä todentamisesta (esim. QRA-menetelmän vertailu toisten menetelmien kanssa joko mallitasolla tai koskien tulosta, tai vertailua käsin laskettuihin tuloksiin) tai kelpoistamista (esim. QRA-menetelmän tulosten vertailu räjähdyskokeiden tuloksiin) koskien esitettyjä malleja? Jos kyllä, voisitteko lyhyesti kuvailla näitä esimerkkejä?

*Aiempiin kysymyksiin annetut vastaukset sisältävät lukuisia esimerkkejä tällaisista vertailuista mallien (tai mallin osien) tasolla. Menneisyudessa vertailuja on tehty myös kokonaisriskiennusteille (esim. yksilön riski ja ryhmäriski). Tällaisissa vertailuissa on tärkeää pitää mielessä että riskiennusteita ei voi objektiivisesti verrata tarkastelematta myös riskin hyväksyntä/siedettävyysskriteerejä.*

Onko olemassa muita V&V:tä koskevia vaatimuksia tai suosituksia olemassa NATO:n sisällä?

*Emme ole tietoisia yhdestäkään.*

Eri NATO-maat näyttävät suorittaneen erilaisia V&V-aktiviteetteja kansallisella tasolla käyttämilleen räjähd-QRA-menetelmille. Oletteko tietoisia onko yksittäisissä NATO-maissa joitain preferoituja tai suositeltuja todentamis- tai kelpoistumenetelmiä räjähd-QRA-menetelmille?

*Todellakin jokainen valtio on järjestänyt riskianalyysimenetelmiensä validoinnin hieman eri tavoin. Yleistä on että jokin toinen ministeriö puolustusministeriön lisäksi on vastuussa menetelmän validoinnista ja hyväksynnästä. Alankomaissa Rijksinstituut for Volksgezondheid en Milieu (RIVM) suorittaa validoinnin. Se on tila- ja maankäytön suunnitteluministeriöön [Ministry of Spatial Planning] liittyvä laboratorio. Yhdistyneissä Kuningaskunnissa tämän tekee Health and Safety Executive (HSE). Yhdysvalloissa tämä tehtävä on Defense Explosives Safety Boardilla (DDESB),*

Onko käytössä tai suunnitteilla hyväksymiskriteerejä koskien esimerkiksi ennusteiden tarkkuutta, tilastollista luotettavuutta, monipuolisuutta tai alaa (esim. millaisia sijoituspaikkoja menetelmä käsittelee, mitä riskimittoja/-metriikkoja se tuottaa tuloksenaan) NATO-maissa käyttöön otettaville QRA-menetelmille? Jos on, miten näiden kriteerien täytyminen todennetaan ja kelpoistetaan?

*Ei ole olemassa NATO-kriteerejä riskianalyysimenetelmien ennusteiden tarkkuudelle. Tiedän yhden esimerkin (Baker ja Tatom 2018) jossa Yhdysvallat teki riskianalyysiohjelmistolle perusteellisen Monte Carlo-epävarmuusanalyysin. Tässä viitteessä [epävarmuus-]jakaumat propagoidaan monimutkaisten SAFER-mallien läpi, ja tämä tyypillisesti antaa lognormaalijakaumia tuloksenaan. Syntyneet tulosjakaumat ovat tyypillisesti leveämpiä kuin haluaisi uskoa. Esimerkki tulosjakaumista on [(Baker ja Tatom 2018, kuva 5)].*

Käytetäänkö vertaistarkastuksia QRA-menetelmien todentamis- tai kelpoistamiskeinona NATOssa? Jos käytetään, onko niitä tekeville asiantuntijoille laadittu V&V-vaatimuksia tai ohjeistusta, tai onko sellaisia suunnitteilla?

*Joskus maat (vertais-)tarkastavat toistensa QRA-tutkimuksia. Esimerkiksi Sveitsin Mitholzin tapauksessa [II maailmansodan aikana räjähdysonnettomuudessa osittain tuhoutunut kalliovarasto jonka turvallisuutta on arvioitu uudestaan 2000-luvulla] Saksa on tarkastanut sveitsiläisten tekemän QRA:n. MSIAC on ennen tarkastanut QRA:han käytettyjä malleja. Mutta NATO:n kautta ei ole vaatimuksia.*

Jos yhteinen joukko räjähd-QRA-menetelmien hyväksymiskriteerejä laadittaisiin NATOssa, miten laatimisprosessi menisci koskien vastuuta, pääaskelia, ja tuloksia (esim. ohjeisto, standardi, direktiivi)?

*Koskien hyväksymiskriteerejä tarkkuuden mielessä, valitettavasti mitään ei ole olemassa.*



*Riskianalyysille [riskianalyysin tuloksille eli riskimetriikoille] hyväksymis/siedettävyysskriteerit [hyväksyttävät riskitasot] esitetään AASTP-4 osa I:ssä. Mutta tätä ei luultavasti tarkoiteta kysymyksessä.*

Nykyään Norjalla ja Ruotsilla on hyväksytty QRA-menetelmä jota käytetään sekä siviili- että militäärisektoreilla, ja nämä kaksi maata ovat keskenään koordinoineet konsensus-mallin. Yhdysvalloissa SAFERilla (sotilaspuoli) ja IMESAFRilla (siviilipuoli) on samat metodologiset juuret, ja ne ovat saman yhtiön kehittämiä. Onko suunnitelmia tällaiselle sotilas- ja siviilipuolen koordinaatiolle NATO-tasolla?

*Me emme ole tietoisia että tällaisia olisi.*

#### 5.4.2 Norjalaisen sotilaspuolen asiantuntijan näkemykset

Norjalainen sotilaspuolen asiantuntija on Norjan puolustusvoimien logistiikkaorganisaatiossa Forsvarets logistikkorganisasjon (FLO) työskentelevä asiantuntija, joka on mm. NATOn ampumatarviketurvallisuusryhmän AC/326 hallitseman julkaisun AASTP-1 maanalaisista varastointia koskevan osan custodian sekä yksi AMRISKin kehittäjistä. Hänelle esitettiin joukko kysymyksiä QRA-menetelmien kelpoistusvaatimuksista samassa yhteydessä kun häneltä kysyttiin Norjan sotilaspuolen säädöksistä (ks. luku 4.2). Seuraavassa kysymykset ja asiantuntijan esittämät vastaukset.

1. Julkisesti saatavilla olevissa dokumenteissa AMRISK versioiden 1.2 β ja 2.0 todentamisesta ja kelpoistamisesta (Holm et al. 2003, Holm et al. 2005) todentamista on tehty vertaamalla kunkin version tuloksia AMRISKin edeltävän version tuloksiin sekä eräiden muiden menetelmien tuloksiin. Onko kelpoistusta joka hyödyntäisi esim. räjähdyskokeiden tuloksia suoritettu AMRISKille?

*Muutokset [AMRISKin versio] 1.0:sta 2.0:aan ovat pääasiassa sveitsiläisen maavaikutusmallin korvaamista Kingery Bulmash-mallilla, ja fyysisten vaikutusten mallien toteutus kansalliselle maanalaisen varaston tyypille. Olemme mallittaneet tapahtuneita onnettomuuksia AMRISKillä, ja sitä on verrattu RISKNL:n, QRISK/RISWINGin, EXPLORISKin ja SAFERin kanssa AASTP-4 yhteydessä. Ainoastaan vaikutuslaskelmia voidaan verrata räjähdyskokeisiin. Yleensä kokeita verrataan [AMRISKin käyttämiin] malleihin, ei suoraan AMRISKin tuloksiin. Esimerkiksi Blast Effects Computer-ohjelma (BEC631) antaa samanlaiset tulokset AASTP-4 [osa II:sta] löytyville käyrille kuin AMRISK. Jos vaikutusmalleja pitää parannella, Norja tuskin yrittää tehdä sitä täysin yksin. Esimerkiksi käytämme Klotz Group Engineering Toolia (KG-ET) laskemaan sirpalevaikutusta käytössä oleville varastotyypeille toteuttaaksemme tämän AMRISKissä. Mielestäni mallien paranteleminen on yhteinen ponnistus.*

*Kuriositeettina mainittakoon että maapeitteisen 1000 kg kenttävaraston räjäytyskoe Älvdalenissa (2005?) vertautuu lähes liian hyvin AMRISKin maanalaisen mallin tuloksiin.*

2. Todentamisessa ja kelpoistamisessa tavallisesti analysoidaan täytyvätkö jotkut kriteerit tutkittavassa entiteetissä [menetelmä, tietokoneohjelma tms.]. Räjähdde-QRA-menetelmien ja -työkalujen V&V:ssa nämä kriteerit voivat liittyä esim. laatuun (esim. ennusteiden tarkkuus), toiminnallisuuteen (esim. millaisia sijoituspaikkoja ja räjähteitä menetelmällä voidaan analysoida), ja vaatimustenmukaisuutta. Mitä V&V-kriteerejä olette käyttäneet räjähdde-QRA-menetelmien ja -työkalujen V&V:ssa?

*En ole varma, ymmärränkö täysin mitä kriteereillä tarkoitetaan. Ennusteiden tarkkuus on kehittyvä asia joka koskee malleja ja mitä valitset niille syötteiksi. Epävarmuusanalyysi on tehty yksityiskohtaisesti SAFERille ja [sen käyttämille] yhtälöille. Emme ole tehneet samanlaista harjoitusta AMRISKin kanssa, en usko että se olisi tuottavaa. Rohkenen väittää että pääepävarmuus liittyy räjähdystapahtumaan, kuinka suuri osa NEQ:sta myötävaikuttaa onnettomuuden vaikutuksiin. [Räjähdyskokeet] osoittavat [räjähteen energiatuotoksi] 0-100%, ja keskiarvo on 11%. Väittäisin että onnettomuuksissa asia on samoin.*

*Nykyiset PES-mallit sisältävät: vapaasti seisovan (avoimen tilan) detonaation, maanpeittämät varastot, kaksi tyyppiä maanalaisia malleja sekä avoimen tilan termalisen mallin. Altistuvat objektit sisältävät vapaan tilan, kolme rakennustyyppiä, auto- ja junamallit. Geometriset muodot sisältävät pisteet, suoraan viivoin rajatut alueet (suorakulmiot) ja rajaamattomat alueet.*

3. Tekniikassa esimerkiksi standardit, lait, asetukset, vaatimusmääritykset ja käyttäjäryhmien pyynnöt voivat asettaa vaatimuksia menetelmille ja teknologioille. Onko tällaisia vaatimuksia asetettu räjähdde-QRA-menetelmille ja -ohjelmistoille? Jos on, millaisia vaatimuksia on olemassa, mitkä ovat niiden lähteet, ja tiedätkö esimerkkejä joissa niitten toteutumista olisi tarkasteltu joidenkin QRA-menetelmien tai -työkalujen todentamisessa ja kelpoistamisessa?

*AASTP-4:n metodologia ja terminologia on lähellä ISO-standardia. Kuitenkin riskin [käsitteen] käyttö ja merkitys vaihtelevat uskonnosta oikeudenkäyttöön, tekniikkaan ja tieteeseen. Uskonnossa epävarmuus on noin 50 %. Väärän tuomion riski oikeusjärjestelmässä on noin 1%. Ulkopuolisen henkilön riski kuolla räjähdysonnettomuudessa Norjassa on noin 0.000001%.*

*Turvallisuusväittämät ovat juridiikkaa, enkä oikeastaan tiedä kuinka turvallinen järjestelmän pitäisi olla [jotta se voidaan julistaa turvalliseksi] - joten kaikki on kiinni parhaasta käytännöstä. Eräitä vakiintuneita parhaita käytäntöjä [räjähdysriskialalla] on YK:n ja NATOn suositukset jotka sattuvat olemaan samat. Ohjelmistojen pitäisi heijastella parhaita käytäntöjä ja käyttää parhaita ja perustelluimpia malleja. Ohjelmistojen ja menetelmien päivitys on tärkeää ja [päivitystarpeen tarkastelu] 10-15 vuoden välein pitäisi olla normi. Testaus on tärkeää, samoin osallistuminen työryhmiin ja yhteisöihin joissa vertaisarviointi on mahdollista [esim. tiedeyhteisö] on ratkaisevan tärkeää. Olen hieman skeptinen spesifikaatioiden ja vaatimusten suhteen, niissä riippuu paljon siitä kuka niitä laatii ja millä tietämyspohjalla.*

VTT:n vastauksessa täsmennettiin mitä kriteereillä tarkoitetaan kysymyksessä 2. V&V:n tarkoitus on analysoida ja tarkastaa onko - tai pikemminkin, miten pitkälti on - kehitetty entiteetti (menetelmä, ohjelma, tekninen järjestelmä) on sellain kuin sen tarkoitettiin olevan (todentaminen) ja täyttää käyttäjien tarpeet (kelpoistaminen). Menetelmien V&V:ssä loppukäyttäjiä ovat tavallisesti menetelmän käyttäjät sekä menetelmän tulosten hyödyntäjät kuten päätöksentekijät. Yksi loppukäyttäjien keskeinen tarve on että riskimalli käsittelee niitä entiteetin riskejä joista he ovat kiinnostuneita. Tämä tavoite voidaan ilmaista sanalla tarkkuus, ja räjähdde-QRA-mallien tapauksessa se käytännössä tarkoittaa että järjestelmän käyttäytyminen mallissa riittävän hyvin vastaa oikean fyysisen järjestelmän käyttäytymistä tarkastelluissa skenaarioissa. Tarkkuuden tavoite johtaa tarkkuuden kriteereihin jotka tekevät tavoitteen saavuttamisen jollain tavalla mitattavaksi. Yksi tarkkuuskriteeri on, että malli ottaa oikeellisesti huomioon kaikki turvallisuuden kannalta relevantit osajärjestelmät (esim. räjähteiden käsittelytilat, paineaallon ja sirpaleiden leviämissesteet, luonnoesteet). Toinen tarkkuuskriteeri on että malli jäljittelee todellisen järjestelmän fyysistä käyttäytymistä riittävän tarkasti; esimerkiksi sen pitäisi tuottaa paineimpulssi riittävän tarkasti että sen suora vaikutus ihmiskehoon voidaan uskottavasti arvioida, ja sirpaleiden ja heitteiden muodostuminen ja lentoradat voidaan arvioida. Tätä tarkkuuskriteeriä voidaan arvioida vertaamalla mallin ennustamaa paineimpulssia räjähdyskokeissa mitattuun. QRA-menetelmän ja -ohjelman tarkkuuskriteerit liittyvät enemmän siihen, että menetelmän/ohjelman pitäisi mahdollistaa kokeneen mallittajan rakentaa riittävän tarkkoja malleja; tätä voidaan arvioida rakentamalla malleja ja vertaamalla niiden tuloksia joihinkin referenssimalleihin/menetelmiin, kuten norjalainen sotilaspuolen asiantuntija on tehnyt. Yksi V&V:n keskeinen tehtävä on muodostaa tällaisia kytkentöjä tavoitteista kriteereihin joiden avulla tavoitteiden saavuttaminen voidaan arvioida niin hyvin kuin mahdollista.

Norjalaista sotilaspuolen asiantuntijaa on voinut hämmäntää se, että on yleensä kovin vaikeaa arvioida riskimallien tarkkuutta. Tämä johtuu siitä, että turvallisuuskriittiset järjestelmät ovat yleensä niin turvallisia että on mahdotonta tai epäkäytännöllistä saada riittävää määrää relevanttia operatiivista dataa että riskien toteutumistodennäköisyyksien tarkkuutta voitaisiin arvioida [tilastollisesti]. Täten riskimallien tarkkuus liittyy pikemminkin sellaisiin asioihin kuin ovatko kaikki relevantit osajärjestelmät, ilmiöt ja muut tekijät huomioitu mallissa

uskottavalla tavalla, tai jätetty mallista pois hyvästä syystä. Uskottavuus voi tässä kuitenkin sisältää vertailun empiiriseen dataan: esimerkiksi esteen rakenteellista luotettavuutta vastustaa paineaallon etenemistä ja lämpöaaltoa voidaan arvioida kokeellisesti. Samoin riskienarviointimenetelmän/ohjelman ”tarkkuuden” arviointi tarkoittaa sen tarkastamista että malli mahdollistaa kompetentille mallittajalle sisällyttää relevantit osajärjestelmät jne. uskottavalla tavalla, ja ehkä tukee mallittajaa päätöksessä sisällyttää malliin tai jättää pois tiettyjä muuttujia.

Näihin kommentteihin norjalainen sotilaspuolen asiantuntija vastasi seuraavasti:

*Uskon että AMRISKissä mallit käsittelevät niitä riskejä joista käyttäjät ovat kiinnostuneita. Olemme toteuttaneet riskienarvioinnin käyttämällä AMRISKiä ainoana perustana ampumatarvikkevarastojen hyväksynnässä 30 vuoden ajan. Meistä [AMRISKin menetelmä] on sekä paremmin perusteltu että vähemmän resursseja vaativa kuin vaihtoehtoinen suojaetäisyysmalli. Sveitsiläiset ovat myös onnistuneet lähestymistavassaan, joka on toteutettu AMRISKin kanssa melkein identtisellä työkalulla. Tiedän että kaikilla ei ole ollut tällaista kokemusta [QRA-menetelmistä]. USAn puolustussektori ei käytä SAFERia kovin paljoa, ja nähdäkseni IMESAFR on käytettympi siviilisektorilla. RISKNL:ää käyttää vain TNO mikäli olen oikein ymmärtänyt.*

*Mitä tarkkuuskriteeriin tulee, kuten ajattelen osoittaneeni, saavutettavissa oleva tarkkuustaso eri malleilla joita seurauksien laskennassa tarvitaan vaihtelee kovin paljon. Kaikki valtiot jotka osallistuvat [NATOn] riskianalyysiryhmään ovat yhtä mieltä siitä, että monia malleja pitäisi parantaa. Klotz group on tehnyt työtä sisäisestä detonaatiosta johtuvan betonin murenemisen ja siitä irtoavien kappaleiden sironnan parissa 30 vuotta!*

*Hienostuneempi ei automaattisesti tarkoita parempaa. Näkemykseni mukaan state of the art on, että teräsrakenteen vasteen numeerinen laskenta on plastisessa deformaatioissa luultavasti yhtä tarkkaa kuin mitä saataisiin aikaan tekemällä testi. En usko että betonimallit ovat yhtä tarkkoja. Maanalaisille tiloille tähän mennessä ei ole osoitettu että numeeriset työkalut olisivat parempia kuin yksinkertaiset yhtälöt.*

*Kun puhut esteistä, oletan että tarkoitat fyysisiä esteitä (esim. hiekka). Tavanomainen yksinkertaistus on, että este joko estää paineaallon etenemisen tai päästää läpi koko aallon. Uskon että voisi olla mahdollista piirtää käyrä massareaktiosta siihen että reaktiota ei ole, mutta tämä ei ole minulle keskeinen prioriteti menetelmien parantamisessa.*

*Yksi heikoimmista oletuksista on perinteisesti ollut [räjähdys-]tapahtuman todennäköisyys. kaikkia riskinvähennystoimia ei voi ottaa huomioon koska niitä on vaikea kvantifioida. Itse asiassa [räjähdystodennäköisyydet] perustuvat kovin harvoille datapisteille ja niitä tulisi pitää asiantuntija-arvioina eikä tilastojen tukemina laskettuina arvoina. Tämä on myös tarkastelun karkeusaste kysymys. Mitä enemmän tekijöitä pitää ottaa huomioon, sitä enemmän syötteitä ja korkeampi käyttökyky. Se tapa jolla Yhdysvallat on rakentanut heidän räjähdystodennäköisyysmatriisinsa (Technical Paper TP-14) on mielestäni state-of-the-art, koska heillä on edes joitain tilastoja jotka tukevat heidän lukuarvojaan.*

*Toinen parannus olisi tilannekohtainen matriisi altistumiselle. Avoimen ja suljetun varaston pitäisi olla samassa matriisissa.*

*En usko että räjähdysten vaikutusten kvantifiointi tuottaisi kokonaisuudessaan suurimpia epävarmuuksia (vertailut toteutuneisiin onnettomuuksiin viittaavat siihen että näin on). Joidenkin vaikutusten malleja on tarvetta parantaa. Joistakin rakenteista irtoavat sirpaleet esitetään [nykyisissä malleissa] huonosti (maan peittämät rakenteet). Myös kulmapainejakauman laskentaa voisi parantaa. Maanalaisiten varastojen [malleissa] parannukset ovat mahdollisia ja toivottuja.*

*Räjähdyksen seurausten kuolettavuuden tarkkuus on melko hyvä avoimessa tilassa olevien ihmisten kohdalla, hieman vähemmän luotettava sellaisissa tiloissa oleskeleville ihmisille joissa sekundaariset vaikutukset määrittävät kuolettavuuden/vahingon.*

*Olen samaa mieltä että menetelmän tarkkuus tarkoittaa sitä, että se mahdollistaa mallittajan rakentaa tarkan mallin. Riittävän tarkka on hyvin sanottu.*

*Sisäistä  $0,4Q^{1/3}$  etäisyyttä  $0,03-0,2Q^{1/3}$  paksulla hiekkaesteellä voidaan yleisesti pitää turvallisena paineaallon etenemisen estävänä etäisyytenä. Este tuhoutuu mutta se hoitaa suurinopeuksisten sirpaleiden pysäyttämisen ja paine-aikakuorman litistämisen viereisille räjähteille.*

*Mitä enemmän ajatusta pystyy laittamaan malliin, sitä vähemmän tarvitaan varmanpäälle-ajattelua. Kannatan tätä mutta ei kannata ajatella liikaa yksittäisen analyysin laatua, enemmänkin eri analyysien tekemistä yhtäpitäviksi. Lopultakin se millä on merkitystä on turvallinen ampumatarvikkeiden varastointi.*

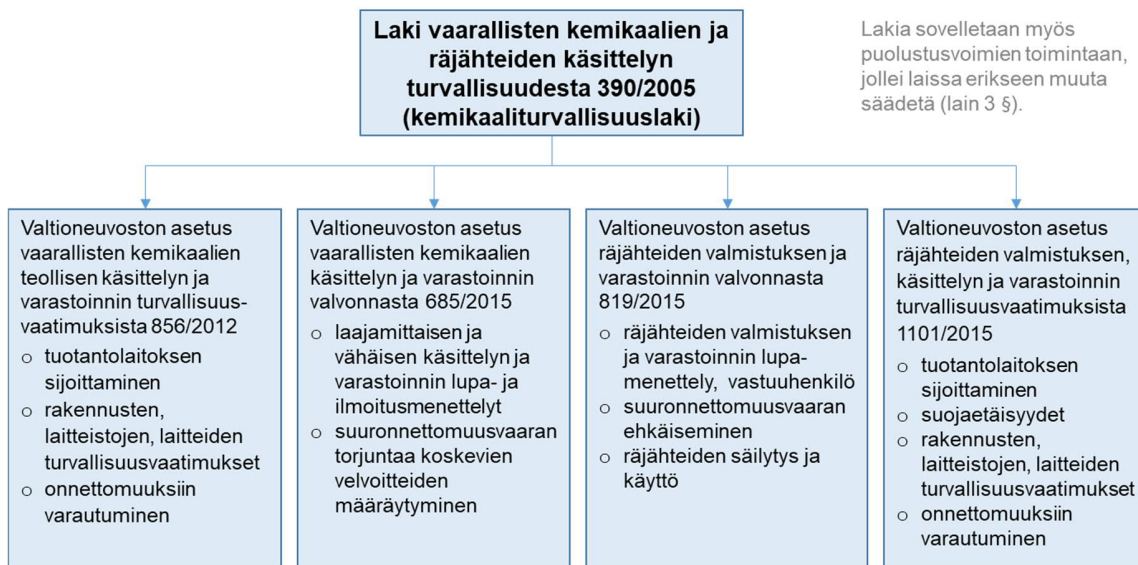
## 6 Suomen teollisuuden kemikaali- ja räjähdekohteiden sekä ydinvoima-alan kvantitatiiviset riskienarviointimenetelmät ja riskitavoitteet

### 6.1 Teollisuuden kemikaali- ja räjähdekohteita koskevia säädöksiä

Vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden valmistuksesta, käytöstä, siirrosta, varastoinnista, säilytyksestä ja muusta käsittelystä säädetään vaarallisten kemikaalien käsittelyn turvallisuudesta annetussa laissa 390/2005 (jäljempänä kemikaaliturvallisuuslaki). Lain 2 lukuun - Turvallisuusvaatimukset sisältyvät

- Yleiset turvallisuusperiaatteet
- Toiminnan järjestäminen tuotantolaitoksessa
- Tuotantolaitoksen suunnittelu ja rakentaminen
- Tuotantolaitoksen sijoittaminen.

Kemikaaliturvallisuuslain nojalla on annettu kemikaalien ja räjähteiden käsittelyyn ja varastointiin liittyviä valtioneuvoston asetuksia (kuva 3). Säädösten ajantasaiset versiot löytyvät <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/>



Kuva 3. Kemikaaliturvallisuuslain nojalla annettuja vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyä ja varastointia koskevia säädöksiä.

Kemikaaliturvallisuuslain (390/2005) nojalla annetuissa valtioneuvoston asetuksissa on säädetty vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta ja riskienhallinnasta teollisuuden kohteissa.

Lain 3§:ssä säädetään, että lain nojalla annetut valtioneuvoston asetukset eivät koske puolustusvoimien sotilaalliseen toimintaan tarkoitettuja räjähteitä eivätkä myöskään maanpuolustuksen kannalta erityissuojattavissa kohteissa sekä sotilaallisissa harjoituksissa, harjoitusalueilla ja rauhanturvaoperaatioissa tapahtuvaa vaarallisten kemikaalien varastointia ja teollista käsittelyä. Puolustusministeriö on kemikaaliturvallisuuslain 3 § nojalla antanut sotilasräjähteistä asetuksen PLMa 772/2009 ja vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista asetukset 712/2017 ja 713/2017.

## 6.2 Viranomaisohjeet

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) on vaarallisten kemikaalien laajamittaista teollista käsittelyä ja varastointia sekä räjähteiden valmistusta ja varastointia valvova viranomaisorganisaatio. Sen julkaisemat oppaat ja ohjeet löytyvät <https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/kemikaalilaitokset>

Tukesin julkaisuja, jotka liittyvät vaarallisiin kemikaaleihin ja räjähteisiin sekä näitä koskeviin riskinarviointeihin ovat lähinnä:

- Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa -opas
- Vaarallisten kemikaalien varastointi -opas
- Tuotantolaitosten sijoittaminen -opas
- Tukes-ohje 9/2015 Turvallisuus selvitys.

## 6.3 Kemikaali- ja räjähdekohteiden riskienarviointia koskevia vaatimuksia

Teollisuuden kemikaali- ja räjähdekohteita koskevissa säädöksissä asetetaan toiminnanharjoittajalle seuraavat velvoitteet

- tunnistaa toiminnan aiheuttamat vaaratilanteet omassa toiminnassaan
- varautua onnettomuuksiin, jos vaaroja ei voida poistaa
- em. työn pitää olla järjestelmällistä ja ulottua laitoksen elinkaaren eri vaiheisiin.

Asetuksen 685/2015 liitteen II mukaisesti on Tukesille tehtävässä lupahakemuksessa oltava vaaratilanteiden tunnistamiseen ja arvioimiseen liittyen (suluissa oleva teksti asetuksen 819/2015 liitteestä I)

*”Selvitys, miten (räjähteiden ja muiden) vaarallisten kemikaalien käsittelyyn ja varastointiin liittyvät vaarat ja niistä mahdollisesti aiheutuvat onnettomuudet tunnistetaan sekä miten onnettomuuksien seuraukset ja riskit arvioidaan. Selvityksestä tulee käydä ilmi tehtävät analyysit ja arvioinnit sekä menettelyt, joilla varmistetaan, että tulokset otetaan huomioon suunnittelussa, toteutuksessa ja käytössä.”*

Lupahakemusta täydentävässä selvityksessä on oltava

*”Yhteenvedo tuotantolaitokselle tehtyjen vaarojen tunnistamista ja riskien arviointia koskevien analyysien tuloksista. Tuloksista tulee käydä ilmi tyypilliset ja suurimmat mahdolliset onnettomuudet tuotantolaitoksessa sekä niiden seuraukset laitoksen alueella ja vaikutukset laitoksen ulkopuolelle. Lisäksi selvityksestä tulee käydä ilmi onnettomuuksien syyt sekä millä todennäköisyydellä tai minkälaisissa olosuhteissa tai tilanteissa niitä voi tapahtua.”*

Mahdollisten onnettomuuksien seurausten arvioinnista on annettu ohjeita Tukes-ohjeessa 9/2015 *Turvallisuus selvitys* ja oppaassa *Tuotantolaitosten sijoittaminen*. Niiden mukaisesti tarkasteltavista tapahtumista esitetään

- yksityiskohtaiset onnettomuuskuvaukset, joista käy ilmi onnettomuuksiin johtaneet syyt ja tapahtumien eteneminen (onnettomuusskenaario)
- arviot onnettomuuksien todennäköisyyksistä tai olosuhteista, joissa onnettomuuksien oletetaan olevan mahdollisia
- onnettomuuksien vaikutusten ulottuvuus ja vakavuus (esimerkiksi millä etäisyydellä lämpösäteily, painevaikutukset tai vaarallisten aineiden pitoisuudet voivat aiheuttaa vaaraa tai vahinkoa).

**Teollisuuden kemikaali- tai räjähdekohteille ei säädöksissä tai viranomaisohjeissa ole asetettu vaatimusta kvantitatiivisten riskinarviointimenetelmien käyttämisestä. Niissä ei myöskään ole asetettu riskeitä tai hyväksyttävää riskitasoa.** Käytännössä Tukes arvioi saamiensa selvitysten (esimerkiksi lupahakemuksiin liittyvät selvitykset) perusteella, onko toiminnanharjoittaja tehnyt tarkoituksenmukaisuuden rajoissa kaikkensa (ALARP-periaate<sup>20</sup>) onnettomuuksien ehkäisemiseksi.

Vaikka vaatimusta kvantitatiivisten riskinarviointien tekemisestä ei lainsäädännössä ole, joissakin teollisuuden suurissa kemikaali- ja räjähdekohteissa on käytössä kaupallisia kvantitatiivisen riskinarvioinnin työkaluja ja ohjelmistoja.

#### 6.4 Ydinenergia-alaa koskevia säädöksiä

Ydinenergian käyttöä ja valvontaa säädellään Suomessa kotimaisella lainsäädännöllä ja turvallisuusmääräyksillä. Suomen lainsäädännössä ja turvallisuusmääräysten valmistelussa on otettu huomioon kansainväliset sopimukset ja suositukset. Ydinenergilainsäädäntöön kirjattujen valtuuksien nojalla Säteilyturvakeskus julkaisee YVL-ohjeita, joissa esitetään ydinenergian käyttöä koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset sekä Säteilyturvakeskuksen työssään käyttämät valvontamenettelyt (Sandberg 2013).

Ydinenergian käyttöön liittyvistä riskeistä Ydinenerjalaisissa (11.12.1987/990) todetaan seuraavaa:

*”Turvallisuusvaatimukset ja toimenpiteet turvallisuuden varmistamiseksi on mitoitettava ja kohdennettava oikeassa suhteessa ydinenergian käytön riskeihin.”*

Jotta vaatimuksen mukainen mitoittaminen ja kohdentaminen toteutuisi, tulee ydinenergian käytön riskejä pystyä arvioida. Ydinenergia-asetuksessa (12.2.1988/161) luvanhaltijalta edellytetään erityistä todennäköisyysperusteista riskianalyysia, jonka avulla annetaan kvantitatiivisia arvioita ydinvoimalaitoksen turvallisuuden vaikuttavista uhkista, tapahtumaketjujen todennäköisyyksistä ja haittavaikutuksista. Ydinvoimalaitoksen rakentamislupaa varten luvanhaltijan tulee toimittaa Säteilyturvakeskukselle suunnitteluvaiheen todennäköisyysperusteinen riskianalyysi ja käyttölupaa varten (varsinainen) todennäköisyysperusteinen riskianalyysi.

Ydinvoimalaitoksen käyttölupa on aina määräaikainen, kuitenkin yleensä vähintään 10-vuoden mittainen. Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (VnA 717/2013) edellyttää, että turvallisuutta on arvioitava myös käytön aikana tehtävien laitosmuutosten sekä määräaikaisten turvallisuusarviointien yhteydessä. Turvallisuutta ja teknisiä ratkaisuja on arvioitava ja perusteltava analyttisesti ja tarvittaessa kokeellisesti. Analyysijä on ylläpidettävä ja tarvittaessa täsmennettävä ottaen huomioon oman laitoksen ja muiden ydinvoimalaitosten käyttökokemukset, turvallisuustutkimuksen tulokset, laitosmuutokset ja laskentamenetelmissä tapahtuva kehitys.

Turvallisuusvaatimusten täyttymisen osoittamiseen käytettävien analyttisten menetelmien on oltava luotettavia ja kelpoistettuja käyttötarkoitukseensa. Analyysien avulla on osoitettava, että turvallisuusvaatimukset täyttyvät suurella varmuudella. Tulosten epävarmuus on arvioitava ja otettava huomioon turvallisuusmarginaaleja määriteltäessä.

#### 6.5 Viranomaisohjeet

Ydinvoimalaitoksen todennäköisyysperusteista riskianalyysia (PRA) ja riskien hallintaa koskevat vaatimukset on koottu YVL-ohjeeseen A.7. Ohjeessa asetetaan myös riskin raja-arvot (uuden) ydinvoimalaitoksen suunnittelussa. Raja-arvot on asetettu taajuuden odotusarvoina kahdelle onnettomuustilanteelle:

- Reaktorisydämen vaurioitumisen taajuuden odotusarvo on pienempi kuin 1E-5/vuosi

<sup>20</sup> ALARP = As Low As Reasonably Practicable

- Onnettomuustilanteessa radioaktiivisten aineiden (laajamittaisen) päästön taajuuden odotusarvo on pienempi kuin 5E-7/vuosi.

Perusteluita miksi kyseisiin kvantitatiivisiin raja-arvoihin on päädytty ei ohjeessa (tai sen perustelumuiotiossa) ole annettu. Raja-arvot ovat kuitenkin linjassa kansainvälisten tavoitearvojen kanssa. Eri maiden tavoitearvoja on koottu viitteeseen (Holmberg ja Knochenhauer 2011). Viitteen perusteella tavoitearvot reaktorisydämen vaurion taajuudelle ovat välillä 1E-4 - 1E-5/vuosi ja laajamittaisen päästön taajuudelle välillä 1E-5 - 1E-7/vuosi.

YVL A.7 edellyttää luvanhaltijaa käyttämään PRA:ta laitoksen suunnittelussa ja käytössä mm. seuraaviin asioihin:

- Uhkien ja tapahtumaketjujen todennäköisyyksien arvioimisessa sekä turvallisuustoimintojen riittävän luotettavuuden ja suunnittelun tasapainoisuuden varmistamisessa.
- Rakenteiden, järjestelmien ja laitteiden turvallisuusluokituksen määrittämisessä ja arvioinnissa.
- Turvallisuusteknisten käyttöehtojen riskitietoisessa laatimisessa, ml. turvallisuudelle tärkeiden järjestelmien ja laitteiden koestusvälien ja käyttörajoitusaikojen määrittämisessä.
- Turvallisuudelle tärkeiden järjestelmien ja laitteiden koestusmenettelyjen riskitietoisessa laatimisessa.
- Häiriö- ja onnettomuustilanneohjeiden kehittämisessä.

Rakennuslupavaiheen ja käyttölupavaiheen PRA ja tietokonemalli toimitetaan Säteilyturvakeskukselle hyväksyttäväksi. Tämän jälkeen luvanhaltijan on pidettävä PRA:ta ajan tasalla ja tarvittaessa täsmennettävä sitä ottaen huomioon käyttökokemukset, laitosmuutokset, uudet tutkimustulokset ja laskentamenetelmissä tapahtunut kehitys.

Käytön aikana PRA:n dokumentoinnin muutokset ja päivitetty tietokonemalli on toimitettava viranomaiselle tiedoksi kootusti vähintään kerran vuodessa. Käyttölupakäsittelyä sekä käyttöluvan mahdollisesti edellyttämää määräaikaista turvallisuusarviointia varten PRA ja tietokonemalli on toimitettava hyväksyttäväksi.

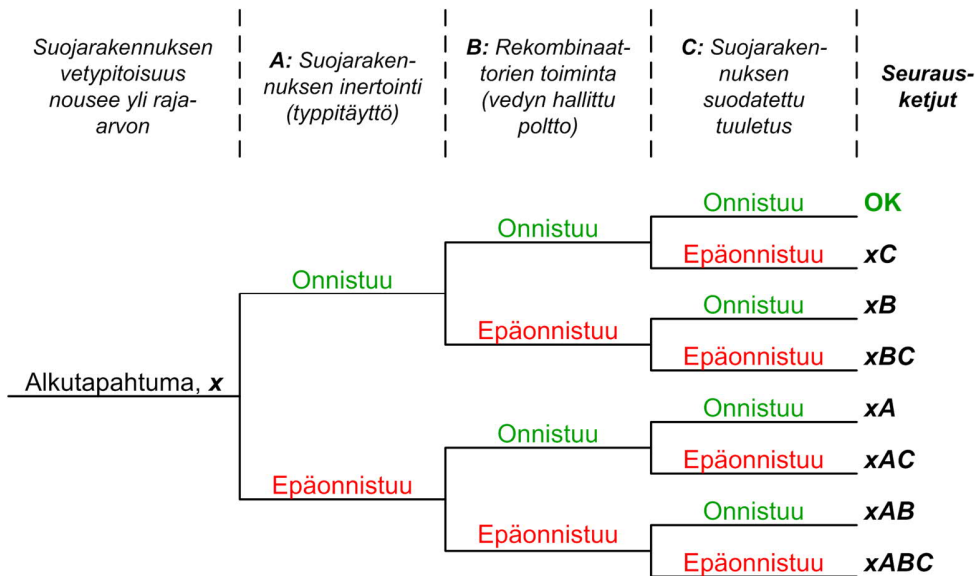
## 6.6 Todennäköisyysperustainen riskianalyysi

Todennäköisyysperusteinen riskianalyysi (PRA) on kokoelma luotettavuusteorian menetelmiä, jonka tavoitteena on mallintaa tarkasteltavan kohteen (yleensä ydinvoimalaitoksen) riskitekijät ja arvioida niistä aiheutuvien seurausten todennäköisyyttä. Vaaratilanteen aloittavan tapahtuman, ns. alkutapahtuman, ja sen seurausten todennäköisyydet ilmaistaan PRA:ssa kvantitatiivisesti, taajuuden odotusarvoina.

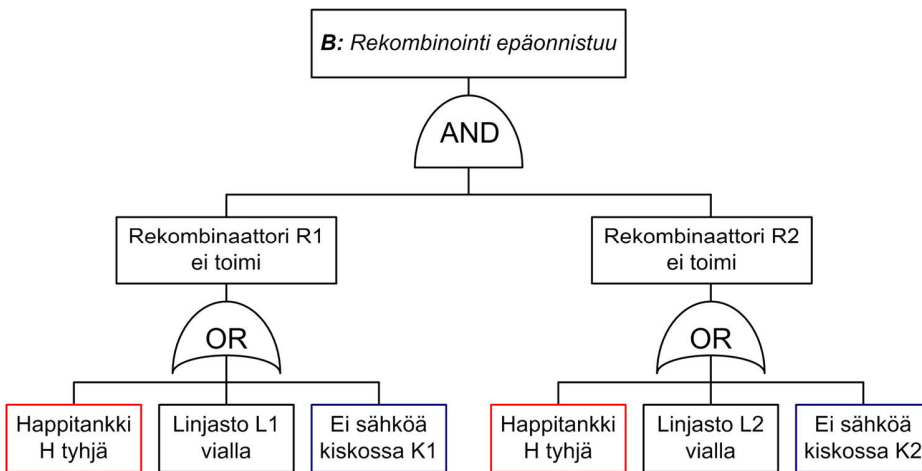
PRA:ssa mallinnus tapahtuu pääasiassa tapahtuma- ja vikapuiden avulla. Tapahtumapuussa esitetään alkutapahtumasta seuraavien tapahtumien vaiheittaista etenemistä loogisen puun muodossa. Tapahtumapuun eri vaiheet kuvaavat yleensä turvallisuustoimintoja, joiden avulla pyritään estämään tapahtumaketjun eteneminen. Esimerkki tapahtumapuusta on esitetty Kuvassa Xa.

Vikapuussa esitetään järjestelmävikaan johtavat tapahtumat ja niiden syyt loogisena kaaviona. Esitys perustuu vikaantumislogiikkaan, eli huipputapahtuma toteutuu kun tietyt ehdot puussa täytyvät. Esimerkki vikaapuusta on esitetty Kuvassa Xb. Vikapuita käytetään tapahtumapuussa esitettyjen turvallisuustoimintojen mallintamiseen.





Kuva Xa: Esimerkki tapahtumapuusta.



Kuva Xb: Esimerkki vikapuusta. (Punaisella merkitty komponentti on järjestelmän toiminnan kannalta kriittisin, koska vikaannuttaa molemmat osajärjestelmät.)

Tapahtuma- ja vikapuut muodostavat yhdessä yhden suuren vikapuun, joka ratkaistaan muuttamalla se rakennefunktioksi. Rakennefunktion avulla voidaan määrittää pienin vikaantuvien komponenttien joukko, joka johtaa tiettyyn seuraukseen. Näitä kutsutaan Minimikatkosjoukoiksi. Minimikatkosjoukot muodostavat selkeän kuvan koko järjestelmän vikaantumisesta ja niiden avulla voidaan tunnistaa järjestelmän tärkeimmät parannuskohteet.

PRA soveltuu erityisesti laajojen teknisten järjestelmien riskien analysointiin. Ydinvoimalaitosten riskianalyyseissä PRA jaetaan kolmeen eri tasoon (Sandberg 2013). Ensimmäinen taso sisältää reaktorisydämen vaurioitumiseen johtavat tapahtumaketjut ja vaurioitumisen todennäköisyyden. Toinen taso sisältää laitokselta ympäristöön tapahtuvan radioaktiivisten aineiden päästön todennäköisyyden, suuruuden ja ajoittumisen. Kolmas

taso sisältää radioaktiivisten aineiden päästön aiheuttamat riskit ihmisille, ympäristölle ja omaisuudelle. Suomessa luvanhaltijoilta vaaditaan PRA:n ensimmäistä ja toista tasoa.

## 7 Työpajan tulokset

---

Kvanti-R-projektin työpaja pidettiin 18.11.2020. Työpajan järjestelyistä ja sisällöstä vastasi pääosin Aalto-yliopisto. Ennen työpajaa osallistujat saivat vastattavakseen Aalto-yliopiston käsillä olevan raportin luonnoksen pohjalta laatimaan nettikyselyyn, jonka tulokset ovat liitteessä. Kyselyyn oli mahdollista vastata myös työpajan tauoilla. Kyselyn tulokset ovat tämän raportin liitteessä.

Työpajan veti professori Ahti Salo, ja siihen osallistui 14 asiantuntijaa Puolustusministeriöstä, Puolustusvoimista, TUKESista, kotimaisesta räjähdeteollisuudesta sekä VTT:ltä ja Aalto-yliopistosta. Työpajan aluksi Seija Miettinen-Bellevergue (PLM) kuvasi lyhyesti projektin taustan. Ilkka Karanta piti esityksen aiheesta ”Katsaus Kvanti-R-projektin johtopäätöksiin” (ks. luku 8). Juho Roponen (Aalto-yliopisto) piti esityksen aiheesta ”Kvantitatiivinen riskianalyysi räjähdeturvallisuudessa”; siinä esiteltiin sekä riskianalyysin perusteita yleisesti että kvantitatiivisen räjähdeturvallisuuden perusteita. Seuranneessa keskustelussa nousi esiin useita teemoja, mm. kysymys siitä, mitä menetelmän kelpoistamisella saavutetaan jos menetelmä on jo käytössä; eikö se jo itsessään osoita että menetelmä soveltuu käyttötarkoitukseensa? Vastauksissa nousivat esiin, että vaikka menetelmää olisikin jo käytetty, sitä ei välttämättä ole arvioitu tieteellisesti (systemaattisesti, selkein ja yksikäsitteisin käsittein, dokumentoidusti ja vertaisarvioidusti); tuli myös esille se, että yksi keskeinen asia kelpoistamisessa on, että menetelmällä tuotettujen analyysien pitäisi realistisesti ja totuudenmukaisesti kuvata todellisuutta. Korostettiin sitä, että analyyseissä syntyvää virhettä voidaan pienentää panostamalla analyysien tekijöiden osaamiseen ja koulutukseen. Tärkeää on myös käyttää tilanteeseen sopivaa menetelmää - suojaetäisyyslaskentaa jos sen avulla saadaan osoitettua kohteen riittävä turvallisuus, ja muussa tapauksessa QRA-menetelmiä. Tuotiin myös esille, että menetelmää käyttöön otettaessa sille asetetaan vaatimuksia, ja kelpoistamisvaatimuksen on hyvä olla yksi niistä.

### 7.1 Keskustelu kyselyn vastauksista

Kyselyn vastaukset löytyvät liitteestä 2. Kysymykseen siitä, millä hallinnollisella tasolla riskitavoitteet tulisi asettaa (laki - viranomaiset), tuli paljon hajontaa. Todettiin että kemikaaliturvallisuuslaki mahdollistaa QRA:n käytön jo nyt, mutta asetus viittaa suojaetäisyydestä luokiteltuihin esim. räjähdetarvikkeiden osalta; asetusta pitäisi siis muuttaa siten, että myös QRA:n käyttö tulisi mahdolliseksi. Esitettiin myös näkökanta, että ei ole suurta merkitystä sillä, millä tasolla riskitasot asetetaan, kunhan asettajalla on valtuus ne asettaa. Olisi myös hyvä, että siviili- ja sotilaspuolen vaaditut riskitasot olisivat jotakuinkin samanlaiset.

Yhdessä kyselyvastauksessa oli ehdotettu kvantitatiivisen riskianalyysin kurssin järjestämistä. Tällaisen kurssin voisi järjestää esimerkiksi Räjähdeyhdistys (joka on yhden aiheeseen liittyvän koulutuksen jo järjestänytkin ja suunnittelee seuraavaa) tai Aalto-yliopisto. QRA-koulutusta voisi myös ajatella alan kansainvälisten konferenssien yhteyteen. Olisi hyvä olla myös toisaalta koulutusta syvällisemmän osaamisen kartuttamiseksi sekä laaja-alaisempaa, esimerkiksi lainlaatujoille suunnattua koulutusta.

Yhdessä vastauksessa oli otettu ideana esiin competence centerin perustaminen. Esimerkiksi NATO:n työryhmissä ja MSIAC-projektitoimistossa on asiantuntemusta. Ruotsissa tämän tyyppinen osaaminen on keskitetty siskäläisten puolustusvoimien tutkimuskeskukseen (FOI), ja Hollannissa on TNO-niminen tutkimuslaitos johon siskäläinen osaaminen on keskitetty. Sveitsi puolestaan ostaa tämän alan palvelut Bienz, Kummer et Partner-nimiseltä yksityiseltä yritykseltä; tämä yritys mm. edustaa Sveitsiä niissä NATO:n työryhmissä joissa käsitellään räjähdetarvikkeiden turvallisuutta ja riskianalyysijä.

## 7.2 Keskustelu jatkotoimenpiteistä

Lopuksi tehtiin työpajan yhteenveto ja keskusteltiin jatkotoimenpiteistä. Ensin keskusteltiin aiheesta mitä pitäisi lainsäädännössä tehdä seuraavien viiden vuoden aikana. Lainsäädännön pitäisi selkeästi mahdollistaa QRA:n käyttö. Niiden soveltamista voidaan tukea ohjeistuksilla ja vastaavalla. Valtaosa räjähdekohteista on sellaisia, joissa on helpompaa ja yksinkertaisempaa käyttää suojaetäisyystaulukoita kun arvioidaan sijoittamisen turvallisuutta. QRA sopii tilanteisiin, joissa on aihetta tarkemmin arvioida kohteen turvallisuutta. QRA:ta kannattaa käyttää rinnakkain muiden menetelmien, esimerkiksi seurausanalyysien kanssa. Sotilaspuolella ei missään säädöksessä sanota etteikö QRA:ta voisi käyttää, mutta toisaalta ei ole myöskään selvillä mihin tarkoituksiin niitä voitaisiin soveltaa ja mihin riskitasoihin saatuja tuloksia verrata. Lainsäädäntöä kehitettäessä täytyy huomioida se, että riskejä tulee tarkastella usealla eri tavalla.

Tarkasteltiin kysymystä, missä määrin kannattaa QRA-menetelmiä kehittää itse ja missä määrin ottaa käyttöön ulkomailla kehitettyjä menetelmiä joko sellaisinaan tai muokattuina; mikä olisi sopiva tavoitetilä vuonna 2025? Huomautettiin että räjähdevalmistajan kannalta seuraavat ovat käytettävän ohjelmiston hyviä piirteitä: se on valmis paketti, sen käyttämien menetelmien teoreettinen tausta on dokumentoitu ja saatavilla, sen käyttöön on saatavilla koulutusta, se on kustannustehokas, nopea, toimii tavanomaisilla tietokoneilla, visuaalinen, helppokäyttöinen, kansainvälisesti ja kansallisesti hyväksytty. Kansallisesti kehitettävien järjestelmienkin pitäisi olla sellaisia että niitä voi käyttää myös Suomen rajojen ulkopuolella. Samat kriteerit pätevät myös sotilaspuolella. Jos menetelmiä (laskentaohjelmistoja) lähdetään hankkimaan ulkomailta, olisi hyvä tietää, mitkä niistä ylipäätään ovat kaupan.

Osaamisen kehittämiseen liittyen tarkasteltiin kysymystä, mitä pitäisi vahvistaa ja rakentaa vuoteen 2025 mennessä. Todettiin että korkein osaaminen QRA-asioissa on sotilaspuolella, ja niitä käsitellään eniten NATO-kokouksissa ja muissa samantyyppisissä tilaisuuksissa. Yhteistyömahdollisuudet ovat siis enemmän sotilas- kuin siviilipuolella, ja yhteistyön vahvistaminen sotilaspuolella hyödyttää myös siviilipuolta. Painotettiin NATO:n asianosaisiin työryhmiin osallistumisen tärkeyttä. Myöskin Suomessa kehitettävä QRA-menetelmä on hyvä viedä kansainväliseen vertaisarviointiin NATO:n kyseiseen työryhmään, ja vuoteen 2025 mennessä menetelmä voisi olla mukana standardissa. Voidaan myös harkita Ruotsissa ja Norjassa käytössä olevan AM-RISKin käyttöönottoa Suomessa.

Jos QRA otetaan käyttöön, pitää osallistua myös menetelmänkehitystyöhön. Menetelmäkehitystä tekevä ryhmä voisi olla esim. yliopistolla. Toisaalta huomautettiin että vaikka yliopisto vastaa pätevien laskennallisten menetelmien osajien kouluttamisesta, tässä ympäristössä ei välttämättä ole mahdollisuuksia kehittää räjähteitä koskevaa erityisosaamista; siksi VTT:n ja yliopiston välinen yhteistyö voisi olla toimiva vaihtoehto. Tiettyä jatkuvuutta olisi hyvä saada. Todettiin että analyysien kelpoistamiseksi olisi hyvä tehdä kokeellista työtä, mutta kustannussyistä yksityisen yrityksen niitä tuskin kannattaa tehdä. Toinen vaihtoehto on pitkälle kehitettyjen tieteellisten keinojen, esimerkiksi virtauslaskennan hyödyntäminen, mutta tähän taas ei yrityksillä useinkaan ole tietämystä eikä osaamista. Teorian ja menetelmien kehittämisessä täytyy olla valmiuksia kokeelliseen toimintaan ja vaativien laskennallisten menetelmien käyttöön. Turvallisuusteknisellä Neuvottelukunnalla (TENK) on tärkeä osa uuden alan tuomisessa suomalaisten toimijoiden käyttöön ja lainsäädännöllisen kehikon luomisessa. Tämä raportti voidaan toimittaa TENK:iin ja sen alaiseen räjähdajaostoon.

## 8 Johtopäätökset ja yhteenveto

---

Räjähdekohteiden kvantitatiiviseen riskianalyysiin on kehitetty lukuisia menetelmiä eri puolilla maailmaa. Menetelmissä on runsaasti eroja mm. seuraavissa asioissa:

- käyttöalue (räjähdetyypit, rakennustyyppit, käsitelläänkö topografia ja maastotyyppit ja miten jne.)
- yksityiskohtaisuus (esim. onko mallia sytytykselle ja jos on niin millainen, millainen malli paineaallon etenemiselle, sirpaleiden ja heitteiden sironnalle jne.)
- tuotettavat tulokset (mitä riskimetriikkoja tuotetaan, tuotetaanko epävarmuusarvioita ja missä muodossa jne.)
- käytettävyys (käyttääkö menetelmä esim. paikkatietojärjestelmien karttatietoja ja tuottaako karttamashupeja, kuinka vuorovaikutteinen menetelmä on jne.)

Tässä raportissa tarkasteltuja kvantitatiivisen riskianalyysin menetelmiä/työkaluja olivat IMESA FR, SAFER, AMRISK, EQRA ja puolustusvoimien uusi menetelmä. Lisäksi tarkasteltiin heitteiden tappavuuden analysointiin käytettävää Lambda T:tä. Näistä menetelmistä EQRA:lla on mahdollista tehdä tarkinta räjähdysaallon laskentaa, ja se onkin suunniteltu kaupunkialueilla tapahtuvien räjähdysten analysointiin. Muissa menetelmissä laskenta on yksinkertaisempaa, mutta sovellusalueetkin ovat geometrialtaan niin yksinkertaisia, että laskennallista virtausdynamiikkaa ei välttämättä tarvita. AMRISK:ssa ja puolustusvoimien menetelmässä heitteiden analysointi ja tappavuuden laskenta yleisesti ovat yksinkertaisemmalla tasolla kuin muissa menetelmissä. AMRISK:ssa ja puolustusvoimien menetelmässä taas on yksityiskohtaiset mallit maanalaisille varastoille toisin kuin muissa menetelmissä. Räjähdysten todennäköisyyden estimoinnissa on myös eroja. AMRISK:ssa ja puolustusvoimien menetelmässä huomioidaan räjähteiden massan vaikutus todennäköisyyteen. IMESA FR:ssa ja SAFER:ssa huomioidaan ulkoiset tekijät ja varastoinnin yhteensopivuusryhmä. IMESA FR ja SAFER sovellusalueet ovat laajemmat kuin AMRISK:n ja puolustusvoimien menetelmän.

Räjähdekohteiden kvantitatiivisten riskianalyysimenetelmien laskemat riskimitat ovat tyypillisesti yksilön riski ja ryhmän riski (kollektiivinen riski). Yksilön riski määritellään yleensä todennäköisyytenä, että yksittäinen ihminen kuolee vuoden aikana tarkasteltaviin räjähteisiin liittyvässä onnettomuudessa. Jossain tapauksissa, kuten AMRISK:ssa, tarkastellaan maksimaalista yksilön riskiä, eli eniten altistuvan yksilön riskiä. Ryhmän riski määritellään tyypillisesti kuolemien odotusarvoisena määränä vuoden aikana. Ryhmän riskin laskennassa käytetään joissain tapauksissa torjuntakerrointa, joka painottaa suuriin onnettomuuksiin liittyviä riskejä.

Siviilipuolella ja sotilaspuolella käytettävät menetelmät ovat päällisin puolin samanlaisia, sillä molemmilla puolilla lasketaan samoja riskimittoja ja esimerkiksi analysoitavat räjähdysten vaikutukset ovat samoja. Erot analyyseissä liittyvät lähinnä sovelluskohteiden eroihin. Käytettävät räjähteet, niihin liittyvä toiminta, ja tarkasteltavat kohteet ja alueet ovat osin erilaisia. Tämän takia myös käytettävien laskentamallien yksityiskohdat tai parametrit eroavat toisistaan siltä osin, kuin sovelluskohteet ovat erilaisia.

Suomessa voidaan kehittää omia menetelmiä, liittyä mukaan kansainväliseen yhteistyöhön menetelmäkehityksessä, tai hankkia valmiita menetelmiä ohjelmatoteutuksina (AMRISK, IMESA FR jne.) jotka toteuttavat menetelmät. Oman menetelmän kehittämisessä on se hyvä puoli, että sen räätälöinti kansallisiin olosuhteisiin tapahtuu jo menetelmäkehityksen aikana, ja lähestymistapa mahdollistaa parhaiden piirteiden valitsemisen olemassa olevista menetelmistä oman menetelmän osaksi sekä viimeisimpien tieteellisten tutkimustulosten hyödyntämisen jo menetelmää kehitettäessä; haittapuolena voi pitää kehitykseen vaadittavaa rahaa, asiantuntemuksen kasvattamista ja aikaa. Valmiin menetelmän hankkimisessa hyviä puolia ovat, että aikaa ja mahdollisesti rahaakin säästyy, ja menetelmä on jo valmiiksi kelpuutettu jossain maassa; varjopuolena on, että menetelmän sovittaminen paikallisiin olosuhteisiin voi olla hankalaa ja kallista. Toki voidaan olla kiinnittämättä toimintatapaa ja käyttää kutakin mainituista toimintatavoista tilanteen mukaan. Tehty menetelmäkat-saus auttaa niissä kaikissa.

Sekä menetelmän hankinnassa että kehittämisessä kannattaa lähteä liikkeelle siitä, että on syytä laatia sekä vaatimukset jotka menetelmän pitää täyttää (liittyen esimerkiksi yllä lueteltuun neljään kohtaan), että parem-

muuskriteerit jotka kertovat kuinka hyvä kukin menetelmä on johonkin muuhun verrattuna. Vaatimukset auttavat karsimaan hankittavista menetelmistä ne, jotka eivät sovi Suomen olosuhteisiin ja analyysien ajateltuun käyttötarkoitukseen. Vertailukriteerit puolestaan tukevat lopullisen valinnan suorittamista. Jos menetelmiä kehitetään, vaatimukset luovat kehittämiselle kehyksen, ja paremmuuskriteerit ohjaavat menetelmäkehitystä (mukaan lukien todentaminen ja kelpoistaminen) toivottuun suuntaan.

Suojaetäisyydet ovat alan toimijoille tuttu ja päättäjille selkeä käsite. Jos menetelmäkehityksessä halutaan säilyttää nämä edut mutta tuoda mukaan nykyaikaisten todennäköisyyksiin perustuvien riskianalyyysien edut (mm. epävarmuuden tieteellisesti perusteltu käsittely), on syytä harkita Norjassa kehitettyä riskikäyriin (ks. luku 3.1) perustuvaa lähestymistapaa. Lähestymistapa on geneerinen, ja monenlaisia QRA-malleja ja -menetelmiä voidaan räätälöidä laskemaan riskikäyriä.

Menetelmäpuolella kansainvälisen yhteistyön luontevia mahdollisia kumppanitahoja ovat Ruotsi ja Norja (joilla on sekä harmonisoitu menetelmä että siviili- ja sotilaspuolen säädökset on sovitettu yhteen), sekä NATO.

Alan viranomaistoimintaa kehitettäessä kannattaa huomata, että sen paremmin Ruotsin MSB kuin Suomen STUK eivät edellytä analyyseissä tietyn menetelmän käyttöä, vaan luvanhakija voi käyttää haluamaansa menetelmää ja viranomaisen hyväksyy uuden menetelmän tarvittaessa tapauskohtaisesti. Käytännössä luvanhakijat luultavasti käyttävät kustannus- ja aikataulusyistä viranomaisen aiemmin hyväksymiä menetelmiä, jos se on mahdollista ja järkevää. Tämä viranomaisten toimintatapa kuitenkin tekee luvituksesta joustavampaa, kun menetelmäkehityksen edistysaskeleet ja räjähdekohteiden erikoispiirteet voidaan paremmin ottaa menetelmän valinnassa huomioon.

Norjan siviiliräjähdekohteita koskevissa säädöksissä ei ole määritetty kvantitatiivista hyväksyttävää riskitasoa. Lainsäädännön vaatimuksia täsmentävässä viranomaisohjeessa sen sijaan on annettu numeerisia yksilöris-kin ja ryhmäris-kin arvoja, joita on noudatettava, mikäli poiketaan säädöksissä esitetyistä minimietäisyyksistä ja arvioidaan kohteen turvallisuutta riskianalyyysin avulla. Viranomaisohjeissa olevat hyväksyttävät yksilö- ja ryhmäris-kin arvot ovat siirtyneet siviilipuolelle alun perin sotilaskohteille määritellyistä arvoista.

Hyväksyttävän yksilöön kohdistuvan riskin laskennassa Norjassa käytetään perustetta, että räjähdekohteen ulkopuolisen (joka ei työskentele laitoksella) kuolemanriski saa lisääntyä kohteen räjähdysriskin seurauksena vain vähän verrattuna hänen tapaturmaisen kuolemansa riskiin eräistä luonnononnettomuuksista johtuen. Ruotsissa perusteena on, että riski saa olla korkeintaan samansuuruinen kuin jostain suojaetäisyydekriteerien perusteella hyväksytyjen räjähdevarastojen joukosta turvattomin aiheuttaa; lisäperusteena on, että näin saatu yksilöriskitaso on hyvin linjassa valittujen verrokkimaiden riskitasojen kanssa. Molempien maiden perusteet ovat käypiä riskitason asettamiselle; muita mahdollisia ovat esimerkiksi että yksilön kuolemanriski vuoden sisällä ei saa lisääntyä merkittävästi räjähdysriskin seurauksena, tai että asetetulla hyväksyttävällä riskitasolla vakavan räjähdeonnettomuuden todennäköisyys on käytännössä merkityksetön. Sekä Norjan että Ruotsin määrittelyperusteita voi soveltaa monella tavalla. Verrattaessa räjähdeonnettomuudessa kuoleman riskiä muihin riskeihin voidaan vertailtaviksi riskeiksi valita esimerkiksi kaikki tapaturmariskit, yleisesti käytettyjen teknisten järjestelmien (esim. tieverkosto) käytön aiheuttama tapaturmaisen kuoleman riski jne. Kun mietitään hyväksyttävää riskitasoa räjähdekohteessa työskenteleville ja sen toimintaan epäsuorasti osallistuville, luontevia vertailukohteita riskin suhteen ovat työturvallisuusriskit sekä tilastojen että työturvallisuussäädöksissä mahdollisesti asetettujen hyväksyttävien riskitasojen osalta. Asetettaessa sallittua riskitasoa luvan saaneiden ja siis riittävän turvallisiksi muilla keinoin todettujen verrokkivarastojen avulla voidaan verrokki valita esimerkiksi uusimpien (ja siis oletettavasti nykyaikaisimpia turvallisuusratkaisuja käyttävien) joukosta tai vaikkapa sellaisista varastoista jotka täyttävät turvaetäisyydekriteerit mutta niiden etäisyys lähimmistä suojattavista kohteista on vain hieman turvaetäisyyttä suurempi; myös verrokkien lukumäärä on sallittua riskitasoa määritettäessä yksi suunnitteluparametri.

Hyväksyttävän ryhmäriskitason asettamisessa voidaan ottaa huomioon räjähdeonnettomuuksissa kuolevien odotusarvon lisäksi myös muut onnettomuusriskit, räjähdeonnettomuudesta yhteiskunnalle aiheutuvat kustannukset (mukaan lukien menetettyjen ihmishenkien rahallinen arvo), sekä kohteen toiminnan arvo yhteiskunnalle. Esimerkiksi tarkasteltaessa räjähdekohteen työntekijöihin kohdistuvan ryhmäriskin hyväksyttävyyttä voitaisiin vertailukohdaksi ottaa työtapaturomissa kuolemisen riski koko yhteiskunnassa tai joillain verrokialioilla. Norjassa hyväksyttävä yhteiskunnallisen riskin taso on aikanaan asetettu suhteuttamalla ryhmäriskiä väestön yleiseen tapaturmaisen kuoleman riskiin, sekä suhteuttamalla räjähdekohteen tuottamaa arvioitua rahallista hyötyä bruttokansantuotteeseen; tätä voidaan pitää jonkinlaisena kustannus-hyötyanalyysinä. Mikäli ryhmäriski ja yhteiskunnallinen riski samaistetaan, tätä menettelyä voidaan soveltaa suoraan myös maksimaalisen hyväksyttävän ryhmäriskin arviointiin. Myös Ruotsissa on ilmeisesti harkittu sallitun ryhmäriskitason määrittämistä kustannus-hyötyanalyysin pohjalta; tähän viittaisi se, että riskitason asettamisen perusteet selvittävässä dokumentissa on esitelty kaksikin erilaista kustannus-hyötyanalyysin menetelmää. Lopulta Ruotsissa on kuitenkin päädytty käyttämään sallitun ryhmäriskitason määrittämiseen samaa menetelmää kuin yksilöriskillekin: lasketaan ryhmäriskit valitulle suojaetäisyyskriteerein hyväksytyjen ja riittävän turvalliseksi todettujen räjähdevarastojen joukolle, ja asetetaan sallittu ryhmäriski näiden hyväksyttäviksi katsottujen ryhmäriskien pohjalta. Sekä Norjan että Ruotsin valitsemat menetelmät riskitasojen asettamiselle ovat käypiä ja molemmille on olemassa omat hyvät perustelunsa: Norjan tapauksessa se että kohteesta koituvat riskit ovat ainakin jonkinlaisessa tasapainossa kohteesta koituvien hyötyjen kanssa, ja Ruotsin tapauksessa se että kohde on vähintäänkin yhtä turvallinen kuin joku riittävän turvalliseksi jo aiemmin todettu kohde. Vertaaminen muihin varastoihin luultavasti vaatii vähemmän työtä ja aikaa, mutta kustannus-hyötyanalyysit antavat monipuolisemman kuvan riskitasojen määrittämiseen liittyvistä tekijöistä. Jos kustannus-hyötyanalyysiin päädytään, voisi olla luontevaa pyrkiä sen avulla päättämään, millä riskitasolla toiminnasta koituvat kustannukset/haitat/riskit ovat tasapainossa toiminnasta koituvien hyötyjen kanssa. Kannattaa miettiä myös sitä, tarkastellaanko pelkästään kuolemisriskiä vai olisiko syytä ottaa huomioon myös erilaiset vammautumiset vaikkapa quality-adjusted life years-konseptin avulla. Riskin yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä mietittäessä kannattaa myös harkita Ruotsissa ja Sveitsissä käytössä olevaa menettelyä, jossa suuronnettomuuksien riskejä painotetaan arvioitaessa räjähdekohteen aiheuttaman ryhmäriskin hyväksyttävyyttä.

Ruotsin siviiliräjähdekohteita koskevissa säädöksissä ja ohjeissa, joita tähän selvitykseen on referoitu, ei ole määritetty hyväksyttävälle riskille kvantitatiivisia riskitasoja. Ruotsin osalta on kuitenkin Nato-standardissa AASTP-4 part I:ssä mainittu räjähdelaitoksen ulkopuolisille henkilöille kvantitatiiviset arvot sekä yksilö- että ryhmäriskille.

Räjähde-QRA-menetelmien käyttöön hyväksymisessä esitettäviä todentamis- ja kelpoistamisvaatimuksia ei ole löytynyt julkisista lähteistä. Koska julkisista lähteistä löytyneistä todentamis- ja kelpoistamisesimerkeistä ei ilmene että V&V:tä olisi tehty systemaattisesti ja kattavasti, ei ole syytä olettaa että mietittyä V&V-vaatimusten kokonaisuutta mistään löytyisi. Jos tällainen halutaan muodostaa räjähde-QRA-ohjelmistojen hankinnan tai kehityksen tueksi, on käytössä ainakin kaksi tapaa:

- V&V-vaatimukset kehitetään. Tämä voidaan tehdä kotimaisin voimin, joskin työ edellyttää usean alan syvällistä asiantuntemusta. Toisaalta koska kyseessä saattaa olla maailmanlaajuisestikin ensimmäinen yritys lajissaan, systemaattisen sekä kattavan V&V-vaatimusten joukon kehittäminen on vaativa urakka, ja Suomessa alan resurssit ovat rajalliset, on luontevaa miettiä yhteistyön mahdollisuuksia joko yhteistyössä Ruotsin ja Norjan kanssa tai laajemmassa yhteistyössä esim. NATOn kanssa.
- V&V-vaatimukset esitetään geneerisesti kuten STUK on määräyksessään 1/Y/2018 (ks. luku 5.3), ja näin jätetään luvanhakijan päätettäväksi miten V&V:n hoitaa ja millaista V&V:tä pitää riittävänä. Luvanhakijaa voidaan tukea STUKin YVL-ohjeiden kaltaisella ohjeistolla joka sisältää seikkaperäisempiä V&V-vaatimuksia mutta josta voidaan perustellusta syytä poiketa.

Vaatimusten kehittäminen voi tapahtua ainakin kahdella tavalla:

- komiteatyönä. QRA:n, räjähdealan sekä todentamisen ja kelpoistamisen asiantuntijoita kootaan työryhmäksi, joka laatii kelpoistamisvaatimukset. Tehtävä on vaativa ja edellyttää työryhmän jäseniltä korkeatasoista osaamista. Kyseessä on monitahoinen kokonaisuus, jossa on filosofisia, teknisten tieteen sekä riskianalyysialan elementtejä.
- orgaanisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että vaatimukset kehitetään pitkäjänteisesti normaalin luvitustoiminnan lomassa. Aluksi voidaan esittää vaatimus että luvanhakija ylipäättään järjestää menetelmälle kelpoistamisen ja toimittaa sen tulokset viranomaiselle; lisäksi viranomainen voi antaa yleistasoisia ohjeita siitä miten kelpoistamisen voi suorittaa. Näitä kelpoistamisia tarkastelemalla kirkastunee kuva siitä, millainen on hyvä ja millainen huono kelpoistus, ja tältä pohjalta voidaan kehittää vaatimuksia. Toinen vaatimusten orgaanista kehittämistä palveleva toimintatapa on tarkastuttaa kelpoistamiset alan asiantuntijoilla. Asiantuntijoiden kirjoittamista arviointiraporteista on luettavissa mikä kulloisessakin kelpoistuksessa on ollut hyvää, mikä huonoa, ja mitä asioita on jätetty kokonaan käsittelemättä; täten näitä raportteja voidaan käyttää yhtenä täsmällisempien kelpoistamisvaatimusten perustana.

Suomen teollisuuden kemikaali- ja räjähdekohteiden edellytetään esimerkiksi lupamenettelyn yhteydessä tunnistavan ja arvioivan toimintaansa liittyvät vaaratilanteet ja mahdollisten onnettomuuksien seuraukset. Säädöksissä tai viranomaisohjeissa ei kuitenkaan ole asetettu vaatimusta kvantitatiivisten riskinarviointimenetelmien käyttämisestä. Niissä ei myöskään ole asetettu riskitavoitteita tai hyväksyttävää riskitasoa. Luvanhakijan kannalta tämä tarkoittaa, että suojaetäisyyslaskennalla on eräs suuri etu QRAhan verrattuna: suojaetäisyyskriteerin täytyminen voidaan osoittaa yksikäsitteisesti. Sen sijaan ilman tietoa hyväksyttävästä riskitasosta luvanhakijan on vaikea päätellä ainakaan QRAn avulla, onko suunniteltu laitos riittävän turvallinen. Hyväksyttävän riskitason asettaminen olisi siis omiaan lisäämään suomalaisten räjähdealan toimijoiden mielenkiintoa QRA-menetelmien käyttöönottoon ja hyödyntämiseen etenkin tilanteissa, joissa suojaetäisyyskriteeri ei täyty, mutta laitoksen voi muista syistä (esim. sijainnin erityispiirteiden, huolellisen turvallisuussuunnittelun ja turvallisuusratkaisujen takia) olettaa olevan riittävän turvallinen. Kemikaali- ja räjähdekohteita valvova viranomainen arvioi laitoksilta saamiensa selvitysten ja muun aineiston perusteella, onko toiminnanharjoittaja tehnyt tarkoituksenmukaisuuden rajoissa kaikkensa onnettomuuksien ehkäisemiseksi.

Ydinvoimapuolella hyväksyttäviä riskitasoja ei ole asetettu säädöksissä vaan viranomaisohjeissa. Viranomaisohjeista (STUKin tapauksessa YVL-ohjeet ja ST-ohjeet) voi luvanhakija tai luvanhaltija perustellusta syystä poiketa. Tästä on useita etuja: sallittuja riskitasoja voidaan helpommin mukauttaa vastaamaan tieteen ja tekniikan kehitystä, tarve yksityiskohtaisten turvallisuusmääräysten kehittämiseksi ja valvomiseksi voi olla pienempi, ja uusilta laitoksilta voidaan edellyttää parempaa turvallisuutta kuin vanhoilta on aikanaan edellytetty. Kun säädöksissä kuitenkin edellytetään riittävän turvallisuuden osoittamista, ja YVL-ohjeitten mukaiset analyysit niissä esitetyillä riskitasoilla ovat laitokselle paras ja helpoin tapa osoittaa laitoksen riittävä turvallisuus, YVL-ohjeita käytännössä noudatetaan. Tällainen toimintatapa - säädösten tasolla vaaditaan riittävää turvallisuutta, ja viranomaisohjeissa kerrotaan mitä riittävä turvallisuus on riskitasojen mielessä ja millaisin analyysin sen voi osoittaa - voisi olla harkinnan arvoinen myös räjähdeturvallisuuden puolella.

Kvanti-R-projekti on ollut taustaselvitys, tarkasteltu räjähdekohteiden kvantitatiivisessä riskienarvioinnissa käytettyjä menetelmiä, sallittujen riskitasoja, niiden asettamista ja tähän liittyviä säädöksiä, menetelmien kelpoistamista, sekä sitä miten edellämainittuja on käsitelty suomalaisessa ydinvoima- ja kemianteollisuudessa. Käytettyjä menetelmiä ovat olleet kirjallisuus- ja säädöskatsaukset, lähinnä sähköpostitse tapahtuneet ulkomaisten asiantuntijoiden haastattelut sekä suomalaisten asiantuntijoiden näkemysten kirjaaminen. Projektin pääasiallinen lopputulos on tämä raportti, jonka toivotaan palvelevan aihetta koskevaa keskustelua sekä valmistelu- ja kehitystoimintaa.

## 9 Summary in English

---

This report is a survey on quantitative risk analysis (QRA) as applied to explosion risks of explosives depots. The objective of the report is to provide information and viewpoints that would foster discussion, preparation and development for the commissioning of QRA in Finland. The methods used in preparing the report include literature review, statute review, interviews of foreign experts (mainly by e-mail), and recording the views of domestic experts.

The status of explosives QRA was studied in four countries: Sweden, Norway, Switzerland and Austria. In Sweden, Norway and Switzerland, QRA is widely used in licensing of explosives facilities. The military sectors of Sweden and Norway have a common accepted method that has been implemented in the AMRISK computer program. AMRISK is also sometimes used in the Swedish and Norwegian civil sectors. In Sweden, a method implemented in the Microsoft Excel application KonExO is widely used in the non-military sector. In the Norwegian non-military sector, QRA methods are used in estimating so-called risk contours, or imaginary curves around the explosives facility where the risk to an individual obtains precisely a given value (for example the acceptable risk level). In Switzerland, QRA is versatily used in assessing and managing the safety of different explosives-related activities especially in the military sector. The Swiss QRA program RIMANA is used both in the military and civilian sectors. In the Swiss civilian sector, QRA is applied when Quantity Distance (QD) criteria are not met. In Austria, the safety analyses of explosives subjects are based on QD. The same risk measures - individual risk and group risk - are used in both the military and non-military sectors, and the consequences that are considered are also same in both. The differences between the non-military and military sectors have to do with the explosives, activities, and facilities (e.g. types of depots), and surroundings considered.

Five QRA methods/computer programs are reviewed more extensively: AMRISK, used in Norway and Sweden especially in the military sector; SAFER, for the military, developed in USA; IMESA FR, widely used in the non-military sector, developed by the same company that developed SAFER; EQRA, developed in EU-funded projects and suitable for industrial safety and terrorism risk analysis; and a method that the Finnish Defense Forces (FDF) are developing. Furthermore, LambdaT, a Swiss method for assessing the lethality of debris, was reviewed. There are differences between the methods concerning e.g. the accuracy of physical models (from simple polynomials to computational fluid dynamics models), sophistication of debris and lethality assessment, probability models of ignition, and scope of application domains (e.g. what kinds of buildings and structures can be analysed).

Same risk measures - individual and group risk - are considered both in the military and non-military sectors, and the consequences considered are the same in both sectors. There are differences between the sectors regarding the explosives considered, the activities related to them, facilities (e.g. storage types) and territories considered.

The legislations of Sweden and Norway have been reviewed regarding acceptable risk levels and its specification. In both countries, acceptable risk levels are set by authorities. In Norway, acceptable level of individual risk is set on the grounds that the probability of dying in an explosion accident to an individual living or working near the facility may increase their mortality risk only little; a practical criterion is that it may be tenth of their risk of dying due to certain natural hazards. When considering societal risk, also the benefit of the explosives facility to the society is also taken into account besides fatality risk. In Sweden, acceptable levels of individual risk and group risk are set on the basis that they are lower than the individual risk/group risk caused by an explosives depot that fills existing quantity-distance-based safety requirements.

Explosives QRA methods have been verified and validated in different ways: by comparing with experimental results, comparing with information available from accidents, and comparing with other QRA methods or earlier versions of the method in question, for example. However, it seems that a systematic and comprehensive



verification and validation procedure has neither been developed nor applied anywhere. Developing such a procedure would be a significant and burdensome undertaking.

Finnish nuclear power industry and chemical industry are examined concerning QRA methods in use, and risk goals in effect. In the nuclear industry, QRA is called probabilistic risk analysis, and concerns the accident risk of nuclear power plants. The main consequence considered is release of a significant amount of radionuclides from the plant and its health effects. As a result of persevering development work, the risk analysis methods, legislation and regulation have reached a stage where they may provide useful examples to the development of respective explosives QRA-related topics in Finland.

## 10 Liitteet /Lähdeviitteet

---

- A-P-T Research, Inc. 2015. Institute of Makers of Explosives Safety Assessment for Risk, IMESAFR, Version 2.0, Technical manual, USA.
- Baker, B., Tatom, J. 2018. Uncertainty Modeling Enhancement Concepts in Quantitative Risk Assessment Methodology. International Explosives Safety Symposium, San Diego.
- Cotton, L.A., Kaminski, A.S. 2018. DDESB Software & Tools – Planning for the Future, International Explosives Safety Symposium, San Diego.
- Department of Defence Explosives Board. 2000. Risk-based explosives safety analysis, Technical paper No. 14, Virginia, USA.
- Dahl, L.T. 2017. Reglement for Ammunisjonstjenesten - Fellesregler.
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). 2012. Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer - Kriterier for akseptabel risiko, ISBN 978-82-7768-310-2.
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). 2016. Veileder om sikkerheten rundt storulykkevirkosomheter - praktisk veileder, ISBN 978-82-7768-420-8.
- Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), Avdeling for Vape og Materiell. 1983. Akseptabelt risikonivå I forbindelse med lagring av ammunisjon, eksplosiver I forsvarets lagre. 8 sivua.
- Fortifikationsverket (FORTV). 1999. Hur säkert är tillräckligt säkert? Forslag till risknivåer. FORTV Rapport 1999:2, 29 mars 1999.
- Försvarsmakten. 2011. Handbok förvaring och transport av ammunition och övriga explosiva varor - H IFTEX del 1.
- Holm, K.B. (toim.), Svinsås, E., Elfving, C., Jacobsson, L.-O., Øiom, H., Bismo, O.M. 2003. AMRISK Version 1.2 β, documentation of validation tests, FFI/RAPPORT-2003/02943, Norwegian Defence Research Establishment.
- Holm, K.B. (toim.), Elfving, C., Berglund, R., Bryntse, A., Øiom, H. 2005. AMRISK Version 2.0, documentation of verification tests, FFI/RAPPORT-2005/03126, Norwegian Defence Research Establishment.
- Holm, K.B., Elfving, C., Øiom, H. 2006. AMRISK Version 2.0, Reference manual, FFI/RAPPORT-2006/01863, Norwegian Defence Research Establishment.

- Holmberg, J.-E. & Knochenhauer, M. 2011. Probabilistic Safety Goals for Nuclear Power plants, Guidance for the Definition and Application of Probabilistic Safety Criteria, NPSAG REPORT 14-001:05, May 2011.
- Häring, I., von Ramin, M., Stottmeister, A., Schäfer, J., Vogelbacher, G., Brombacher, B., Pfeiffer, M., Restayn, E.-M., Ross, K., Schneider, J., Hiermaier, S. 2019. Validated 3D spatial stepwise quantitative hazard, risk and resilience analysis and management of explosive events in urban areas, European Journal for Security Research, 4, 93-129.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 1999. Deterministic safety analysis for nuclear power plants. Specific Safety Guide SSG-2.
- Kingery, C. N., Bulmash, G. 1984. Airblast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical surface burst. ARBRL-TR-02555, US Army Armament and Development Center, Ballistic Research Laboratory.
- KonExO User's Manual, version 4.1, Preface. 2009. Point of contact Kompetenscenter för Energetiska Material (KCEM).
- Kristiansen, A., Pappas, J., Henriksen, H. 2019. Guidelines for quantitative risk analysis of facilities handling hazardous substances - report for the Norwegian Directorate for Civil Protection (DSB). Lloyd's Register Consulting - Energy AS, Report No. 106535/R1
- Kummer, P.O. 2010. Lethality of persons due to debris throw, Update on recent work in Switzerland, 34<sup>th</sup> Department of Defence Explosives Safety Seminar, Portland, Oregon, USA, 13-15 July 2010.
- MSIAC (Munitions Safety Information Analysis Center). 2020. Support Finland with explosives safety risk analysis. Answer to Question No. 2020-FIN-2994, 1.11.2020.
- Murray-Smith, D. 2015. Testing and validation of computer simulation models - principles, methods and applications. Springer.
- North Atlantic Treaty Organization (NATO). 2016. NATO standard AASTP-4, Explosives safety risk analysis part I: Guidelines for risk-based decisions.
- Papazoglou, I., Aneziris, O., Konstandinidou, M., Giakoumatos, I. Accident sequence analysis for sites producing and storing explosives. Accident Analysis and Prevention 41 (2009) 1145–1154.
- Project Management Institute, Inc. 2013. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide), Fifth edition. PMI, Newtown Square, Pennsylvania, USA.
- Rakitin, S. 2001. Software verification and validation for practitioners and managers, 2nd ed. Apress.
- Sandberg, J. (toim.). 2013. Ydinturvallisuus. Kirjasarja: Säteily- ja ydinturvallisuus, osa 5. 2. painos. Säteilyturvakeskus, Porvoo. 418 s. ISBN 951-712-500-3.
- Tatom, J. 2007. A new tool for managing risk associated with commercial explosives operations, PARARI 2007, Melbourne, Australia, 15-18 October 2007.
- Tatom, J., Swisdak, M. 2004. Comparison of SAFER Debris Density Results to Test Data. Minutes of 30th DDESB Seminar, 24-26 August 2004.
- Tatom, J., Swisdak, M., Santis, L. 2011. A comparison of the Quin site explosive event results to IMESAFR consequence predictions. Minutes of PARARI.

- Tatom, J., Swisdak, M., Santis, L., Ross, T. 2014. IMESA FR Version 2.0: A next generation tool for managing risk associated with commercial explosives operations - 2014 update, SAFEX topical papers series, Paper No 07/2011.
- UNODA (United Nations Office for Disarmament Affairs), 2015. Formulae for ammunition management. International ammunition technical guideline IATG01.80, second edition.
- Van der Voort, M. 2019. NATO standards for safe storage of ammunition - explosives safety risk analysis [presentation], Finnish MoD, 26 November 2019.

10.1 Liite. Työpajan yhteydessä suoritettu kysely

## **Perusraportti**

### **Räjähdekohteiden kvantitatiivinen riskianalyysi**

Tämä liite sisältää Kvanti-R-projektin työpajan yhteydessä toteutetun Webropol-kyselyn tulokset. Kyselyn ovat laatineet Aalto-yliopiston professori Ahti Salo ja tohtorikoulutettava Juho Roponen, osin käsillä olevan raportin luonnoksen pohjalta.

Näytetään 12 vastaajaa, vastaajia yhteensä 13

#### **1. Vastaaja**

Vastaajien nimet on poistettu.

## 2. Kuinka hyvin tunnet kvantitatiivisia riskien arvioinnin menetelmiä?

Vastaaajien määrä: 11

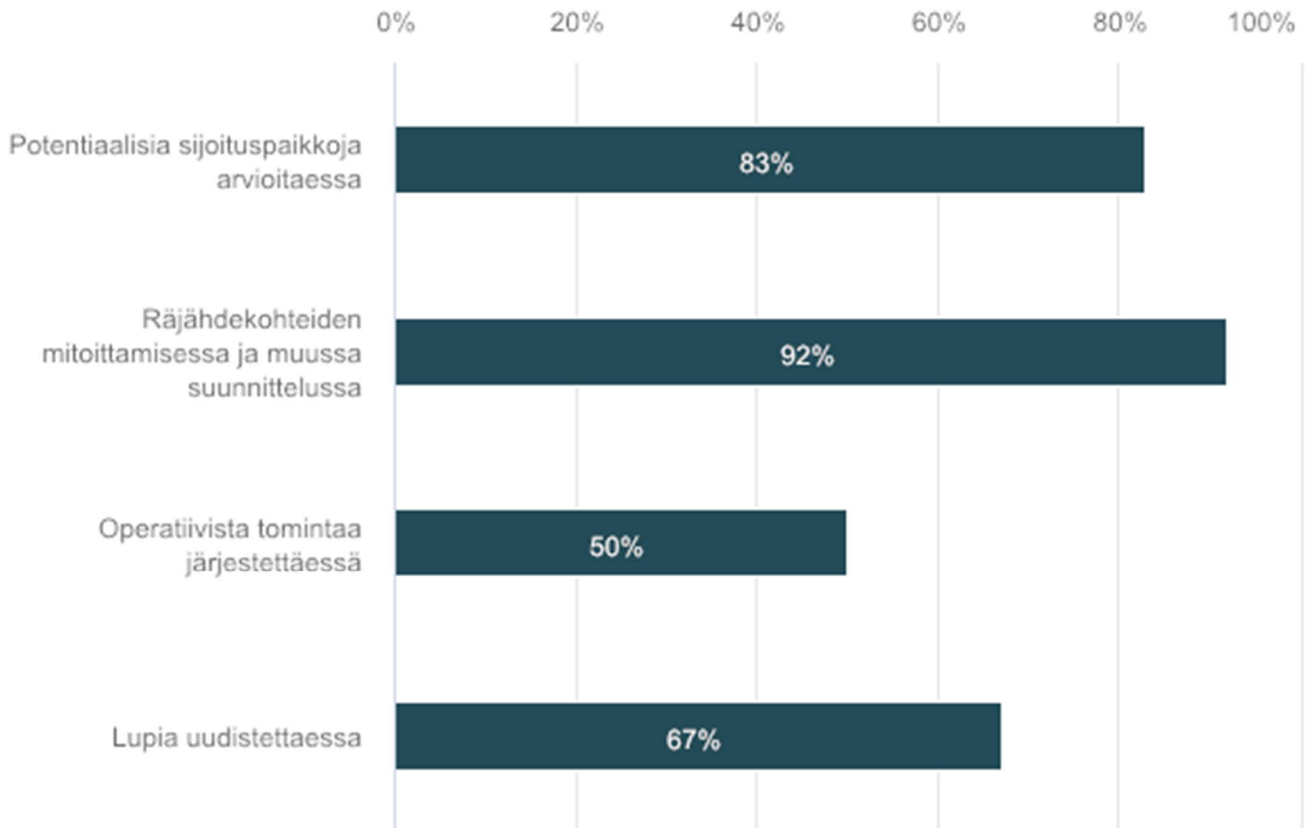
Minimiarvo	Maksimiarvo	Keskiarvo	Mediaani	Summa	Keskihajonta
2	9	6,27	7	69	1,95

Liukukytkimen arvon lukumäärä	n	Prosentti
0	0	0%
1	0	0%
2	1	9,09%
3	0	0%
4	0	0%
5	3	27,28%
6	1	9,09%
7	3	27,27%
8	2	18,18%
9	1	9,09%
10	0	0%

### 3. Missä vaiheessa kvantitatiivista riskienarviointia mielestäsi tulee soveltaa?

(Monivalinta)

Vastaajien määrä: 12, valittujen vastausten lukumäärä: 35



	n	Prosentti
Potentiaalisia sijoituspaikkoja arvioitaessa	10	83,33%
Räjähdekohteiden mitoittamisessa ja muussa suunnittelussa	11	91,67%
Operatiivista toimintaa järjestettäessä	6	50%
Lupia uudistettaessa	8	66,67%

#### 4. Missä määrin siviili- ja sotilaspuolen riskiarvioinnissa on tarpeen mielestäsi käyttää yhteneviä menetelmiä ja käytäntöjä?

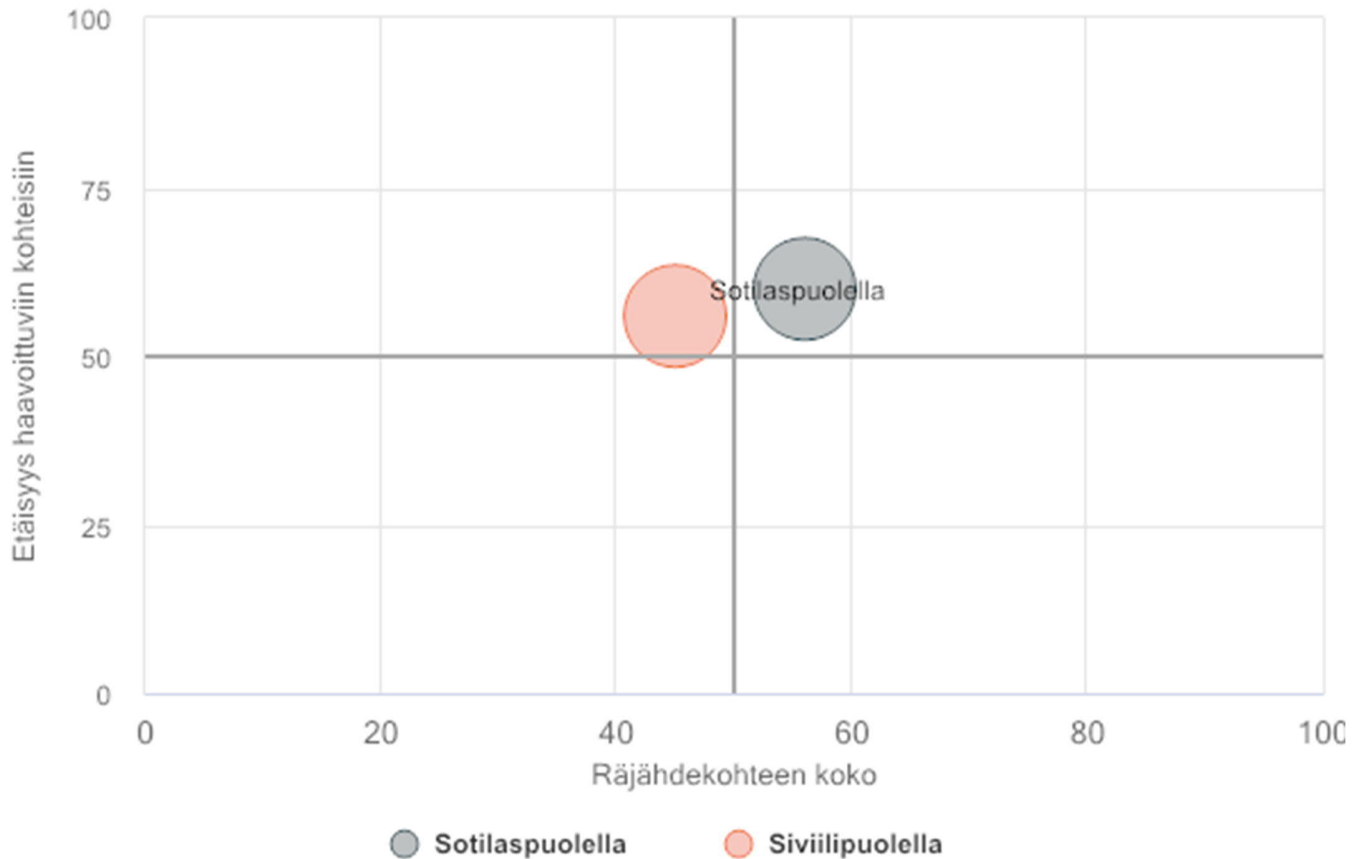
Vastaajien määrä: 11

Vastaukset
Pyrittävä samojen menetelmien käyttöön. Otettava kuitenkin huomioon sotilasräjähteiden merkittävästi suurempi tuhovoima sekä kehittyneempi tekniikka.
Yhtenevyys on kannatettavaa, mutta siviiliympäristöjen erityispiirteet tulee kuitenkin ottaa huomioon.
Menetelmät ja käytännöt voivat olla samoja, mutta niitä ei ole tarvetta pakottaa yhteneviksi, jotta toiminnalla on edellytykset kehittyä. Hyväksyttävät riskitasot voivat poiketa toisistaan mm. yhteiskunnan tarpeen perusteella.
Menetelmien tulisi mielestäni olla yhtenäisiä. Raja-arvojen osalta voi olla eroja eri tilanteissa.
Yhteneviä kannattaisi minusta käyttää, jos ei ole selkeitä perusteita eriyttää käytäntöjä.
Yhteneviä menetelmiä ja käytäntöjä olisi hyvä käyttää mahdollisimman paljon, jotta ristiriitatilanteilta vältyttäisiin.
Yhtenevistä menetelmistä olisi apua, Suomi on pieni maa, eikä alakaan suuri ole. Voidaan myös käyttää erilaisia menetelmiä, koska räjähteet poikkeavat siviili ja sotilaspuolella.
Kun ei tiedetä varmuudella, millaisia eroja riskeissä samanlaista asetelmaa koskevat eri menetelmät antavat, olisi perusteltua käyttää samoja tai samat tekijät huomioon ottavia menettelyjä. Sotilaspuolenkin toiminta vaikuttaa lähes aina ympäröivään siviiliyhteiskuntaan, jolloin olisi perusteltua käyttää samoja kriteerejä ja menetelmiä sekä sotilas- että siviilipuolella.
Menetelmät on hyvä olla yhtenevät. Täytyy kuitenkin huomioida Puolustusvoimien lakisääteiset tehtävät ja räjähteiden erilainen käyttötarkoitus
Mielestäni tulisivat olla hyvin pitkälle yhteneviä.
tarvittaessa

## 5. Miten korkean riskin kohteisiin kvantitatiivista riskienarviointia mielestäsi tulee soveltaa?

Asemoi piste siihen kohtaan, jonka ylä-oikealla puolella arvioita on syytä laatia. Voit jättää vastaamatta, mikäli koet, että tällaiset raja-arvot eivät ole mielekkäitä.

Vastaajien määrä: 11



	n	Räjähdekohteen koko (Kes- kiarvo)	Etäisyys haavoittuviin kohteisiin (Kes- kiarvo)
Sotilaspuo- lella	8	56	61
Siviilipuo-lella	11	45	56

## 6. Mitä muuta mielestäsi pitää huomioida kvantitatiivisen riskianalyysin käytössä?

Vastaaajien määrä: 11

Vastaukset
Riittävän kompetenssin syntyminen ja käyttäminen.
Räjähdenkohteiden toimintaympäristön muuttuminen tulee ottaa huomioon siten, että luvat myönnetään määräajaksi ja että mahdollisesti tapahtuneet muutokset otetaan huomioon lupia uusittaessa.
Lainsäädännön tuomat rajoitukset menettelyn käytölle.
Riskianalyysin käyttö tuottaa arvion räjähdönnettomuudesta aiheutuvasta haitasta. Päätöksen teossa ja hyväksyttävissä riskitasoissa on huomioitava myös räjähteiden käytöstä saatava hyöty (yhteiskunnan näkökulmasta).
Analyysin tekijän osaaminen. Tehdyt oletukset ovat oikeita ja perusteltavia.
Räjähdyriskin todennäköisyyden arviointi voi olla vaikeaa ja se perustuu mahdollisesti olemassa olevaan tietoon ja konsensukseen, joka voi elää, mikäli joku yllättävä asia tapahtuu ja muuttaa käsityksiä. Monien onnettomuuksien yhteydessä käydään kuitenkin myös julkista keskustelua eihän tällaista pitänyt sattua.
Saadut tulokset eivät ole absoluuttisen tarkkoja ja syötteiden määrä tulee olla järkevä.
Käyttäjällä pitää olla ymmärrys menetelmän rajoituksista ja osaa tulkita tuloksia.
Mielestäni tärkeää on määrittää kriteerit, jota vasten kvantitatiivista arviointitulosta verrataan.
Vaatimukset asettavat ja riskinarviointia tekevät vain riittävän kompetenssin omaavat henkilöt. Shit in -> shit out
riskitasot tulisi määrittää jossain, Lainsäädännössä tulisi selkeästi todeta, että QRA-menetelmiä voidaan taulukkoarvojen kanssa soveltaa



## 7. Miten näet räjähdeturvallisuuden riskianalyysin kehittyvän Suomessa, jos lakiin tai viranomaisohjeisiin ei tehdä merkittäviä muutoksia?

Vastaaajien määrä: 12

Vastaukset
Jos säädöksiä ei tarkisteta QRA:n näkökulmasta, voi riskianalyysi rajoittua vain vaikutusanalyysiin, jolla kuitenkin ei olennaista vaikutusta voi olla lupien myöntämiseen.
On tarpeen varmistaa, että meillä vallitseva normisto vastaa kansainvälisiä käytäntöjä ja on mieluummin samantapainen kuin keskeisissä verrokkimaissa: muuten riskinä on jälkeenyttäminen kansainvälisistä parhaista käytännöistä.
Ainakaan kvantitatiivisten menetelmien käyttöönotto ja kehittyminen ei edisty, jos säädökset eivät salli menettelyn laajempaa käyttöä.
Jos QRA-käyttäminen vaatii lakiin tehtäviä muutoksia, niin kehitystä ei tapahdu moneen vuoteen. Selkeillä ja joustavilla viranomaisohjeilla, joista päivitetään käyttökokemusten perusteella, luodaan edellytykset toiminnalle ja erityisesti sen käynnistämiseksi.
Asutuskeskusten läheisyys aiheuttaa ongelmia varastojen sijoittamisessa. Tarvetta täydentäville menetelmille on. K-arvojen syntyhistoria on ainakin itselle epäselvä.
Riskianalyysi tuskin muuttuu kvantitatiiviseen suuntaan itseksekseen. Laki ja ohjeistukset lisäävät painetta toimijoille tehdä analyysi.
En osaa sanoa.
En näe suurta ero riskianalyysin kehitykselle, vaikka siitä ei tarkemmin säänneltäisikään. Jossain määrin selkeät säädöskirjaukset voisivat "kannustaa" käyttämään myös uudenlaisia (QRA) menetelmiä. Ne antavat kuitenkin laajemman kuvan riskistä, kuin pelkät räjähteen määrään ja etäisyyteen perustuvat suojaetäisyydestaulukot.
En näe sen juuri kehittyvän. Lainsäädännön tulisi selkeästi tunnistaa tällaisten menetelmien käyttö.
Laki (kemikaaliturvallisuuslaki 390/2005) ei näkemykseni mukaan tällä hetkellä estä riskianalyysin tekemistä. Lakia ei tarvitse tämän takia välttämättä muuttaa. Jos lakia päivitetään muuten, voi riskianalyysiä siellä, ainakin perustelumuiotiossa, tuoda esille. Viranomaisohjeisiin se tulee paremmin tunnistaa.
Vaatii muutoksia, mikäli kvantitatiiviset riskianalyysit halutaan ottaa käyttöön.
siviilipuoli voisi jatkaa kuten nytkin. TUKES on hyväksynyt käytettyjen menetelmien tuloksia. Mil-puolella asiaa tulisi selvittää.

## 8. Millä hallinnollisella tasolla riskitavoitteet tai hyväksyttävät riskitasot tulisi linjata?

Vastaajien määrä: 12

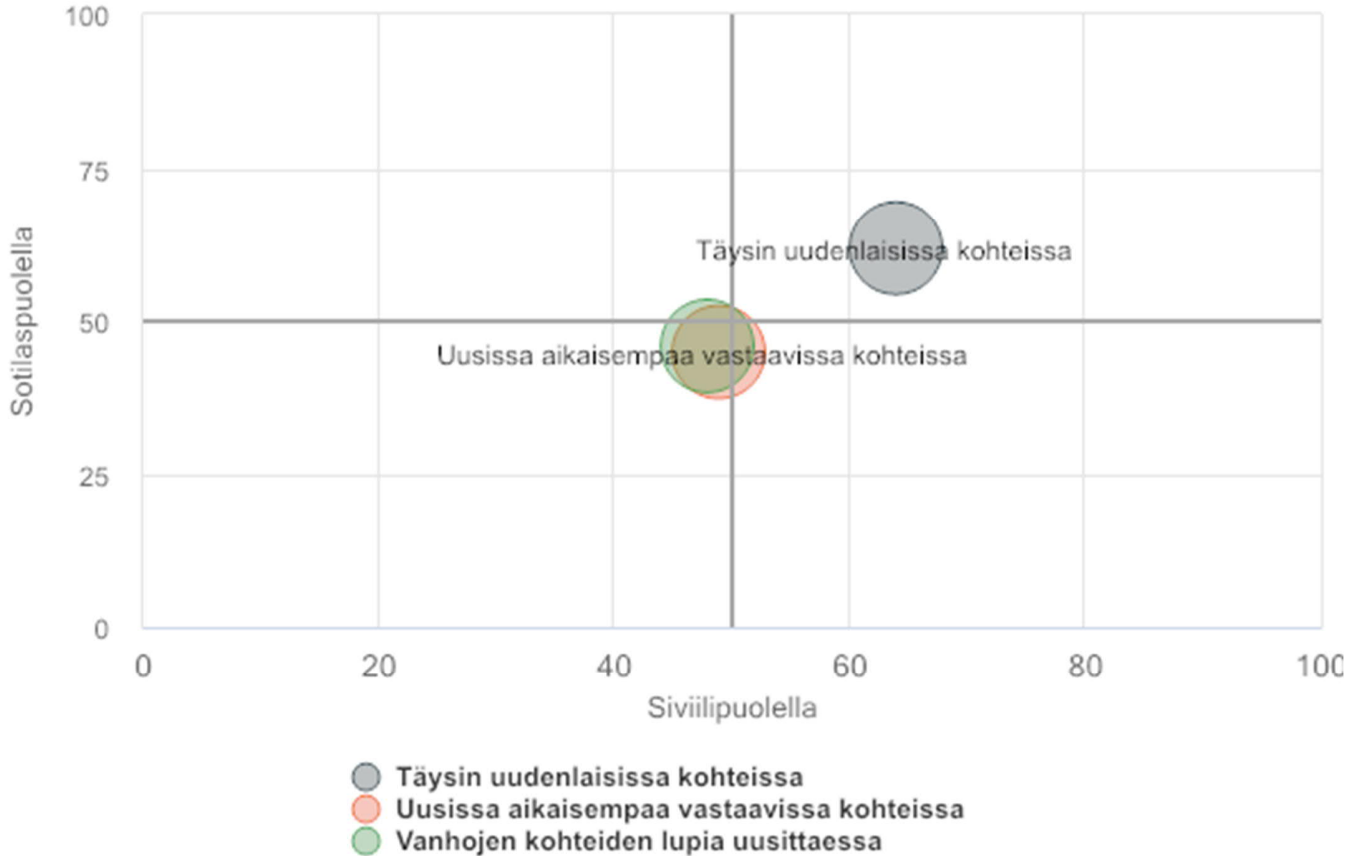
Minimiarvo	Maksimiarvo	Keskiarvo	Mediaani	Summa	Keskihajonta
0	10	5,42	5	65	3,42

Liukukytken arvon lukumäärä	n	Prosentti
0	1	8,34%
1	1	8,33%
2	1	8,33%
3	1	8,33%
4	0	0%
5	3	25%
6	0	0%
7	0	0%
8	3	25%
9	0	0%
10	2	16,67%

## 9. Milloin valvontaviranomaisen tulee mielestäsi edellyttää kvantitatiivista riskianalyysiä?

*Sotilaspuolella tarkoitetaan muuta kuin Puolustusvoimien omavalvontaa.*

Vastaajien määrä: 12



	n	Siviilipuolella (Keskiarvo)	Sotilaspuolella (Keskiarvo)
Täysin uudenaikaisissa kohteissa	12	64	62
Uusissa aikaisempaa vastaavissa kohteissa	11	49	45
Vanhojen kohteiden lupia uusittaessa	12	48	46

## 10. Tuleeko kvantitatiivista riskianalyysiä käyttää vain vaikutusarviointiin vai myös kokonaisturvallisuuden arviointiin?

Vastaajien määrä: 12, asteikko: 0 vain vaikutusarviointiin, 10 vain kokonaisturvallisuuden arviointiin

Minimiarvo	Maksimiarvo	Keskiarvo	Mediaani	Summa	Keskihajonta
3	9	6,5	6,5	78	1,93

Liukukytken arvon lukumäärä	n	Prosentti
0	0	0%
1	0	0%
2	0	0%
3	1	8,34%
4	0	0%
5	4	33,33%
6	1	8,33%
7	1	8,33%
8	3	25%
9	2	16,67%
10	0	0%

## 11. Tuleeko räjähdekohteille asettaa samantyyppisiä riskitasovaatimuksia kuin ydinvoimapuolella? Jos, niin mille kohteille?

Vastaajien määrä: 9

Vastaukset
En pitäisi tätä välttämättömänä, koska absoluuttisten riskitasovaatimusten laskennallinen validoitu määrittäminen voi olla haasteellista.
En tunne ydinvoimapuolen vaatimuksia. Lähtökohtaisesti ei tulisi asettaa, koska räjähdekohteiden riskitasovaatimuksille löytyy hyviä ja toimivaksi todettuja esimerkkejä muiden maiden käyttämisestä.
Ohjeellisia riskitasoja. Perusteet muuttuvat heti jos vaikutusalueelle tulee lisää väkeä.
En osaa sanoa
Riskitasovaatimukset tulee asettaa suojattaville kohteille.
Kannattaisin enemmän ns. Norjan mallia, missä yleisesti teollisuusonnettomuuksien vaikutuksille määriteltäisiin yleinen hyväksytty riskitaso (riskikäyrät). Välttämättä ei edes tarvita yleistä hyväksyttyä riskitasoa, jos käytettävällä QRA:lla saadaan osoitettua, että räjähdysonnettomuuden riski on saatu matalaksi ja on epätodennäköistä, että onnettomuus aiheuttaisi vakavia vammoja ihmisille.
Ydinvoimapuolen riskitasovaatimukset eivät ole minulle kovin tuttuja.
Ei. Ydinvoimaloita on vain muutama, räjähdekohteita tuhansia. Ydinvoimalaonnettomuuden seuraukset ovat valtakunnallisia, räjähdeonnettomuuden pahimmillaankin paikallisia.
hyväksytyt riskitasot voinevat olla samat. Ydinvoimala on kompleksisempi. STUKn ohjeissa, suhteellisen alhaisella tasolla on määriteltä hyväksytyjä riskitasoja. Jos se lainsäädännöllisesti on oikea taso, silloin sitä voisi pitää mallina.

## 12. Tuleeko viranomaisen esittää hyväksyttävät analyysimenetelmät? Vai onko menetelmän valinta jätettävä toimijan tehtäväksi?

Vastaajien määrä: 12

Vastaukset
Analyysimenetelmät tulee hyväksyä samaan tapaan kuin vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa hyväksytään kansalliset/kansainväliset standardit
Viranomaisen tulee antaa suuntaviivoja käyttökelpoisimmiksi katsottujen menetelmiä valitsemiseksi sekä kyky arvioida esitettyjen analyytisen kelpoisuutta (validiteettia); mutta toimijoilla tulee olla jonkin verran vapautta ja vastuuta tarkasteltavan räjähdekohteen analysoinnin kannalta tarkoituksenmukaisimpien menetelmien valinnasta.
Ainakin jonkinlaiset reunaehdot tulee määrittää.
Ketä viranomaista tässä tarkoitetaan? Lähtökohtaisesti toimijan tehtävä.
Toiminnanharjoittaja kertoo mitä menetelmää käyttää. Järjestelmän tulee olla avoin ja hyvin dokumentoitu, mutta ei tarvetta listata hyväksytyjä.
Viranomaisen voisi esittää menetelmää yhteisen ymmärryksen pohjalta
Viranomaisella ei välttämättä aina ole parasta käsitystä parhaista analyysimenetelmistä, joten analyysimenetelmä tulisi ainakin osittain olla toimijan harkinnan varassa.
Toimija valitsee menetelmän ja osoittaa samalla viranomaiselle, että menetelmä soveltuu tarkasteltavaan kohteeseen.
Viitaten myös kysymykseen 9: Viranomaisen ei tarvitse edellyttää analyysien käyttöä, mikäli toiminnanharjoittaja kykenee osoittamaan säädösten tai määräysten täyttyminen. Jos toiminnanharjoittaja pystyy todistamaan analyysimenetelmänsä olevan tarkoitukseen sopiva, toiminnanharjoittaja esittää analyysimenetelmää viranomaiselle. Kuitenkin, tässäkin työssä esillä oleva verifiointi- ja validointiasia osoittaa, olisi järkevää tavalla tai toisella todentaa, mitkä menetelmät voidaan todeta käyttökelpoisiksi, ettei jokaisen toiminnanharjoittajan tarvitse käydä läpi oman menetelmänsä validointia ja verifiointia ainakaan kokonaisuudessaan.
Viranomaisen valvoo, kuten TUKES.
Viranomaisen kanssa yhteisesti määritettävä menetelmät. Molemmilla osapuolilla tulee olla samanlainen ymmärrys menetelmästä.
menetelmät tulisi olla toimijan valittavissa. Menetelmät tulisi olla kuitenkin jotenkin validoitu, tunnustettu niin, että sen tiedetään laskevan oikein.

### 13. Asettaako nykyinen lainsäädäntö mielestäsi rajoituksia kvantitatiivisten riskianalyyssimenetelmien käytölle?

*Voit jättää vastaamatta ellet koe tuntevasi lainsäädäntöä riittävästi.*

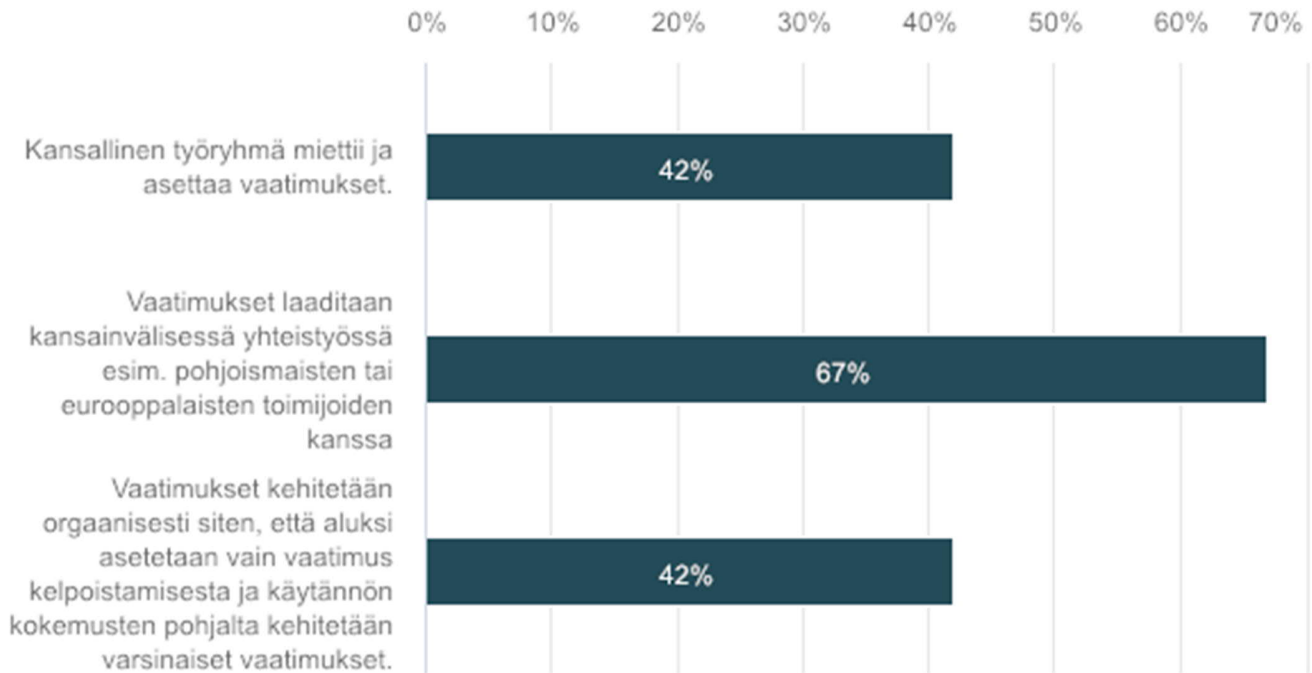
Vastaajien määrä: 9

Vastaukset
Kyllä asettaa, ainakin siviilipuolen säädöksissä. Esimerkiksi räjähdetarastojen sijoittamista ei voi tehdä kvantitatiivisen riskianalyyssin perusteella.
Ei aseta. Hyvin laaditut lait ovat yleensä joustavia.
Kyllä. Suoranaisesti ei anna mahdollisuutta käyttää ulkoisia suojaetäisyyksiä määriteltäessä.
En osaa sanoa
En osaa sanoa.
Ei aseta rajoituksia, mutta ei myöskään suosittelen tai edellytä niiden käyttämistä.. Hyvä periaate on mielestäni, että jokaisessa tarkasteltavassa tai luvitettavassa tapauksessa pyritään löytämään parhaat käytännöt. Joskus se voi olla QRA (monimutkaiset kohteet) ja joskus yksinkertaiset suojaetäisyyssuositukset selkeissä tapauksissa.
Ei varsinaisesti rajoita, mutta niiden hyöty jää epäselväksi, koska ei ole olemassa yleisesti hyväksytyjä kriteerejä.
Kemikaaliturvallisuuslaki ei erikseen mainitse, muttei kielläkään. Ei ole lain hengen vastainen.
Kemtl ei ole selkeä eikä siinä selkeästi sanota, että QRA:a voidaan käyttää. KemTL:n pohjalla on ollut QD- taulukkojen käyttö.

## 14. Millä periaatteilla kelpoistamisvaatimukset (so. validointi) tulee laatia?

(Monivalinta)

Vastaajien määrä: 12, valittujen vastausten lukumäärä: 18



	n	Prosentti
Kansallinen työryhmä miettii ja asettaa vaatimukset.	5	41,67%
Vaatimukset laaditaan kansainvälisessä yhteistyössä esim. pohjoismaisten tai eurooppalaisten toimijoiden kanssa	8	66,67%
Vaatimukset kehitetään orgaanisesti siten, että aluksi asetetaan vain vaatimus kelpoistamisesta ja käytännön kokemusten pohjalta kehitetään varsinaiset vaatimukset.	5	41,67%



## 15. Miten kvantitatiivisten riskienarviointimenetelmien validointia tulee muuten edistää?

Vastaajien määrä: 10

Vastaukset
Aktivoimalla kansainvälistä yhteistyötä aihealueella.
Tulee laatia esimerkinomaisia pilottitarkasteluja, joiden validiteettia arvioidaan monipuolisesti tarkoituksenmukaisella kriittisyydellä.
Yhteistyöllä toimijoiden ja viranomaisten välillä.
Kurssi?
Jos validoinnilla tarkoitetaan keskustelua ja avoimuutta menetelmien laadulliseksi kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi, tulisi osallistua sellaiseen yhteistyöhön, jossa yhteistyötä tehdään ja se hyödyttää menetelmän laadunvarmistusta.
Osaamisen kartuttamista riskienarviointimenetelmistä.
Mielestäni on tärkeä käyttää sellaisia menetelmiä, jotka ovat yleisesti käytössä maailmalla ja niiden toimivuudesta on evidenssiä. Jos tarkasteleva kohde on sellainen, että menetelmä ei välttämättä sovellu siihen, niin sitten annettava arvio luotettavuudesta. Tässäkin tulee se vastaan, että on tiedettävä menetelmän rajoitukset ja mistä ne epävarmuudet tulevat menetelmään.
Vertailemalla olemassa olevia ja saatavilla olevia menetelmiä keskenään.
-
Tenkissä ja sen ad hoc jaostossa

## 16. Mitä mahdollisuuksia kvantitatiiviset riskianalyysimenetelmät tarjoavat verrattuna nykykäytäntöihin Suomessa?

Vastaajien määrä: 12

Vastaukset
Onnettomuusvaikutusten parempi ymmärrys, kokonaisturvallisuuden kannalta merkityksellisten parantamiskohteiden identifiointi.
Kvantitatiivisten menetelmien soveltaminen pakottaa arvioimaan riskejä huolellisemmin, mikä on arvo siinänsä. Toisaalta numeeriset tulokset ovat muihin riskeihin paremmin vertailtavissa.
Tarkempaa tietoa todellisesta riskin suuruudesta verrattuna esimerkiksi QD-tilaukoihin.
Mahdollistaa yhteiskunnan resurssien (taloudelliset, maankäyttö) kustannustehokkaan käytön toimenpiteiden kohdistamisen niihin asioihin, joista on eniten hyötyä. QRA antaa tietoa siitä, mitä siitä seuraa, jos onnettomuus todella tapahtuu. Sen sijaan nykykäytäntö tarkastelee lähinnä asiaa näkökulmasta "onko jokin mahdollista" eikä siitä "mitä oikeasti tapahtuu". QRA mahdollistaa myös ALARP:n asianmukaisen käytön.
Ahtaasti rakennetuilla alueilla säilyy mahdollisuus räjähteiden varastointiin. Samoin pienissä muutoksissa. Lähimökki tmv.
Voimat mahdollistaa tarkemman suojaetäisyysanalyysin tai lisätä tietoisuutta muista riskeistä ja vaikutuksista. Mahdollistaa useampien riskien arvioimista samaan aikaan. Yhdenmukaistaa tarkastelua.
Resurssien tehokkaampi käyttö.
Ne antavat huomattavasti tarkemman kuvan riskiin vaikuttavista tekijöistä. Näin riskinvähennystoimenpiteetkin voidaan tarkemmin määritellä ja niiden "kuntoa" voidaan seurata.
Tehokkaamman tilankäytön
Joustavuutta, turvallisuuden parantumista
Olemassa olevan infrastruktuurin joustavamman käytön.
voidaan kehittää uusia menetelmiä, joilla nykyistä vastaava turvallisuustaso voitaisiin saavuttaa.

## 17. Mitä haasteita kvantitatiivisten riskianalyysimenetelmien käyttöön liittyy verrattuna nykykäytäntöihin Suomessa?

Vastaajien määrä: 11

Vastaukset
Perusteet (terminologia, toimintamallit, menetelmät, vaadittava kompetenssi) puutteellisia, koska aihealueella ei ole aikaisempaa historiaa/kokemusta räjähdpuolella. Virheymmärrysten ja -arvioiden vaara.
Räjähdenkohteista on (onneksi) vain erittäin vähän tilastotietoja tapahtuneista onnettomuuksista. Täten tämän sovelluskohteen tarkastelu tilastomenetelmin on selvästi haasteellisempaa kuin monessa muussa kontekstissa.
Menettely on hitaampi ja raskaampi ja vaatii tarkat lähtötiedot. Menetelmien osaajia on vähän. Menetelmän käyttö voi olla haastava pienille toimijoille.
Käyttöönotto haasteellista. Uusien menetelmien käyttöä halutaan, mutta niihin suhtaudutaan myös varauksella. Uusien menetelmien käyttöönotto vaatii resursseja ja ajan myötä oman osaamisensa ja kulttuurinsa kehittymisen.
Ei ole raja-arvoja eikä menettelytapoja. Mennään aina tapaus kerrallaan.
Riskin todennäköisyyden arviointi voi olla niin vaikeaa, ettei laskemisella saada lisäarvoa. Se saattaa työllistää ja monoimutkaistaa esim. luvitus-prosesseja
Ei riittävästi resursseja.
Osaaminen on vielä heikkoa. Niitä tarvitaan vain harvoissa tapauksissa, joten osaamisen kehittyminenkin on haasteellista. Suomessa ei ole vastaava QRA-perinnettä kuin öljyteollisuuden maissa. Meillä tärkeämpää on löytää ne hyvät käytännöt eli ts. tehdä kaikki järkevissä oleva onnettomuuksien ehkäisemiseksi tai niiden vaikutusten rajoittamiseksi
QRA-menetelmissä on vaarana jäädä tuijottamaan todennäköisyyksiä, vaikka onnettomuudet käytännössä aina johtuvat itse toiminnasta (huonosta hallinnasta/hallinnosta). Tällöin on vaara että fokus turvallisesta toiminnasta räjähteiden parissa unohtuu.
Resurssipula
Lainsäädännön tulkinta
lainsäädännön haasteet, osaaminen, resurssit

## 18. Mitä vahvuuksia suomalaistoimijoilla on kvantitatiivisen riskianalyysin alalla?

Vastaaajien määrä: 7

Vastaukset
Tekniikka sinällään tunnettua, minkä vuoksi perusteiden luominen (kts. edellä kohta 17) periaatteessa mahdollista/helppoa.
Suomessa on verraten vahvaa osaamista mm. ydinturvallisuuden sekä muiden turvallisuuskiittisten järjestelmien kvantitatiivisesta riskianalyysistä. Tämä osaaminen on tuotavissa myös räjähdekohteiden kvantitatiivisen riskianalyysin tueksi.
En tunne suomalaisia alan toimijoita.
Aika pieni joukko, verrattain hyvin koulutettu ja omaa pitkän työkokemuksen. Hyvä riskitietoisuus.
Meillä on vahva perusosaaminen ja näin ollen hyvät edellytykset omaksua myös QRA-työkaluja.
Pitkä ja laaja selvitys sekä menetelmän kehitystyö koskien luolavarastointia
TENK ja ad hoc räjähdejaosto. TUKES:lla on kokemusta

## 19. Mitkä tekijät vaikeuttavat kvantitatiivisten riskianalyysimenetelmien käyttöä Suomessa?

Vastaajien määrä: 9

Vastaukset
Lainsäädännön tulee tunnistaa mahdollisuus riskianalyysin käyttöön sekä määrittää sen kohteet ja tarkkajaisuuden asteet.
Räjähdeaineiden erilaisuus sekä erot erilaisten räjähdenkohteiden ja niiden ympäristöjen välillä voivat osoittautua haasteelliseksi. Kokonaisturvallisuutta koskevissa tarkasteluissa erityisesti räjähdystodennäisyksien arviointi ja toisaalta vaikutusten kvantifiointi saattavat olla vaikeita.
Tällä hetkellä lainsäädäntö. Jos lainsäädäntö mahdollistaa menetelmien käytön, pitää huolehtia riittävästä osaamisesta sekä toiminnanharjoittajien että viranomaisten puolella.
Resurssit ja tahtotila.
Hyväksyttäviä riskitasoja ei ole määritelty.
Lainsäädännössä ei tarkkaan annettava mahdollisuutta niiden käyttöön. Voisi selvästi olla sanottuna, että suojaetäisyyksien sijaan räjähdevaraston sijoittamisesta voidaan päättää QRA-menetelmillä.
Säädökset eivät tunnista, resurssipula
Asiantuntemuksen puute eri organisaatiotasolla
lainsäädäntö ei ole selkeä, joka mahdollistaisi QRA:n käyttöönoton

## 20. Minkä tahon/tahojen tehtäväksi kvantitatiivisen riskianalyysin kehittäminen ja ylläpito Suomessa kuuluu mielestäsi parhaiten?

Vastaaajien määrä: 10

Vastaukset
Räjähdekohteita Suomessa varmaankin niin rajallinen määrä, joihin riskianalyysia sovellettaisiin, että kehittäminen ja käyttö tulisi kohdentaa erityiselle "competence center"-taholle, jotta sillä olisi järkevä työkuorma.
Tehtävää ei tule jättää millekään yksittäiselle toimijalle kokonaisuudessaan. Pikemminkin alan osaamista tulee kehittää sekä viranomaistahojen, sektoritutkimuslaitosten, yritysten ja riskianalyysiopetusta ja -tutkimusten tekevien korkeakoulujen keskuudessa.
Puolustusvoimien, VTT:n ja yliopistojen välinen yhteistyö saattaisi olla kannatettavaa. Kvantitatiivisen riskianalyysin tutkimusosaamista tulee rakentaa, koska se antaa edellytykset toimia tasavertaisena ja vahvana kumppanina kansainvälisissä yhteistyöverkostoissa.
Kyse on toimijan tarpeesta, joten sitä kautta tulisi ohjata kehittämistä ja ylläpitoa. Muiden tahojen tulee luoda edellytykset toiminnalle.
VTT
Sotilaspuolella PVTUTKL.
Teollisuuden (alan toimijoiden)
Analyysimenetelmien käyttö ja niiden kehittäminen edellyttää perehtymistä ja jonkin verran osaamista. Tähän työhön pitäisi mielestäni Suomessa keskittyä jonkin tahon. Esim. yliopisto, tutkimuslaitos tms.
-
Yhteistyössä toiminnanharjoittajien ja valvovien viranomaisten kesken.
TEM ja sen ad hoc räjähdajaosto, Suomeen tulisi perustaa competence center, jossa olisi QRA osaamista (voisi olla esim. yliopistossa), resursseja, joka voisi suorittaa laskelmia

## 21. Mitä uutta osaamista, lisäresursseja ja/tai toimenpiteitä kvantitatiivisten riskianalyysimenetelmien käyttöönotto edellyttää?

Vastaajien määrä: 10

Vastaukset
Osaaminen räjähdemaalalla on haettava ulkomailta osana kansainvälistä toimintaa. Erityisesti on määritettävä tarvittava kompetenssi ja sen osalta "kriittinen massa", jota tarvitaan paitsi menetelmien pyörittämiseen, myös kehittämiseen ja osallistumiseen kansainväliseen yhteistoimintaan.
Tämän päättyvän hankkeen pohjalta on hyvä tunnistaa keskeisimmät räjähdekohteet, joihin kvantitatiivista riskianalyysiä on kansainvälisten vertailujen valossa syytä soveltaa.  Toimenpiteistä ehkä tärkeimpiä ovat kansainvälisten yhteistyöverkostojen rakentaminen ja pilottitarkastelujen tuottaminen ja rakentavan kriittinen arviointi.  Kehittämisvaiheen tueksi voisi ajatella jonkintyyppisen "special interest groupin" perustamista, joka kokoaa alan toimijat yhteen ja tukee eri tahojen välistä vuoropuhelua ja osaamisen kehittämistä. Erillispanostuksiakin aihepiiri saattaa vaatia; mutta ensin mielekkäämpää hahmotella tavoitella.
Lainsäädännön muutokset, viranomaisten laatimat ohjeistukset, viranomaisten ja toiminnanharjoittajien kouluttautuminen menetelmien käyttöön ja arviointiin.
Resursseja tarvitaan QRA:n käyttöönottoon. Kokemuksen myötä osaaminen ja ymmärrys asiaan liittyvistä tarpeista saadaan.
Ainakin käsitystä lakien ja säästöjen mahdollisista rajoituksista
Henkilöresursseja.
Ymmärrystä itse menetelmästä, riskin käsitteestä. Täytyy olla vahva osaaminen tulkita tuloksia. Tärkeää on että laskenta voidaan esittää avoimesti, jotta sen luotettavuutta voidaan arvioida. Riskianalyysin tekijän on osattava myös arvioida tulosten luotettavuutta.
Ks. edellinen vastaus.
-
syvällistä QRA osaamista, lainsäädännön kirjoittajia, TEM:n tulisi tehdä päätös, voidaanko QRA-menetelmä ottaa Suomessa käyttöön ja mitä muuta sen käyttöönotto edellyttäisi.